## CONTEÚDO


Choque Elétrico

Coração Humano

Fibrilação Ventricular do Coração Devido ao Choque Elétrico

Efeitos do Choque Elétrico no Corpo Humano

Riscos do Choque Elétrico

Riscos com Equipamentos Hospitalares


Geraldo Kindermann


ISBN 978-85-910875-4-9

9 788591 087549

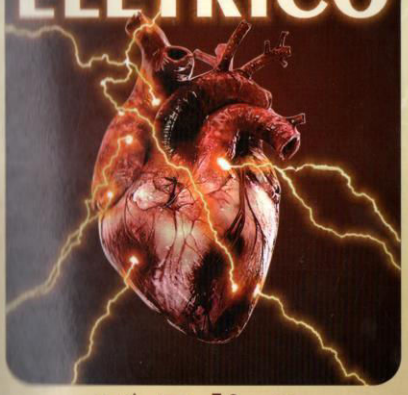

Geraldo Kindermann

CHOQUE ELÉTRICO

4ª Ed.

Geraldo Kindermann

# CHOQUE ELÉTRICO



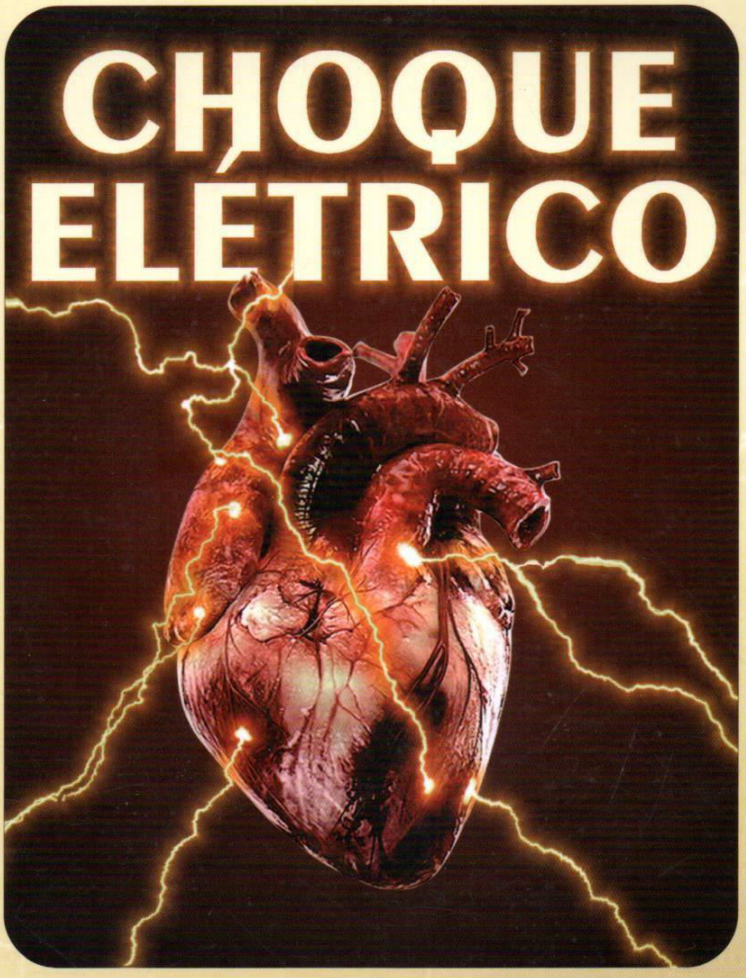
## 4ª Edição

Modificada e Ampliada

UFSC LabPlan EEL

Geraldo Kindermann

# CHOQUE ELÉTRICO



## 4ª Edição

Modificada e Ampliada

UFSC LabPlan EEL

Geraldo Kindermann

CHOQUE ELÉTRICO

4ª Ed.

# O AUTOR

GERALDO KINDERMANN, natural de Araranguá - SC, Professor da Graduação e Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Coordenador e Ministrante de cursos promovidos pela ELETROBRÁS. Ministrou vários cursos e palestras no país e no exterior. É autor dos Livros:

Edições em Espanhol:
- Aterramiento Eléctrico
- Cortocircuito

Edições em Português:
- Choque Elétrico
- Aterramento Elétrico
- Curto-Circuito
- Proteção Contra Descargas Atmosféricas em Estruturas Edificadas
- Proteção de Sistemas Elétricos de Potência - Volume 1
- Proteção de Sistemas Elétricos de Potência - Volume 2
- Proteção de Sistemas Elétricos de Potência - Volume 3

E-mail:
geraldokindermann@gmail.com

LabPlan

# CONTEÚDO


Choque Elétrico

Coração Humano

Fibrilação Ventricular do Coração Devido ao Choque Elétrico

Efeitos do Choque Elétrico no Corpo Humano

Riscos do Choque Elétrico

Riscos com Equipamentos Hospitalares



Geraldo Kindermann



ISBN 978-85-910875-4-9

9 788591 087549

**GERALDO KINDERMANN**
**Professor da Universidade Federal de Santa Catarina**

# CHOQUE ELÉTRICO

4ª Edição Modificada e Ampliada

**UFSC - EEL - LABPLAN**

Florianópolis – SC
2013

© de Geraldo Kindermann

Capa: Hudson Steffani Soares Rosa
Revisão: Dinarte Américo Borba
Desenhos: Marcos Fischborn
Editoração: Geraldo Kindermann e Alexandre Nunes Zucarato
Direitos Autorais: Registro Nº 159.978 - Livro: 265 - Folha: 108

Ficha Catalográfica

Kindermann, Geraldo

Choque Elétrico / Geraldo Kindermann – Florianópolis – SC: Edição do Autor – 2013
Bibliografia

ISBN: **978-85-910875-4-9**

1. Choque elétrico. 2. Eletricidade-Acidente.
3. Ferimentos por eletricidade. 4. Engenharia elétrica.

CDU: 621.316.9

**É proibida a reprodução total ou parcial deste livro sem a autorização do autor.**

**Geraldo Kindermann** dedica este livro a sua família:

♥ **Maria das Dores** (esposa)

♥ **Katiuze** (filha)

♥ **Krisley** (filha)

♥ **Lucas** (filho)

# Agradecimentos

O Autor agradece em especial

- ☑ Ao professor **Dinarte Américo Borba** pelas valiosas discussões e contribuições técnicas que foram importantíssimas na confecção deste livro.
- ☑ Ao engenheiro **João Vitor Pereira Pinto**, pelas oportunidades proporcionadas que têm muito contribuído ao enriquecimento técnico e profissional do Autor.
- ☑ Ao médico cardiologista **Jamil Cherem Schneider**, pela leitura do texto e discussões que auxiliaram na lapidação do livro.
- ☑ A **Rogério Luciano**, **Fabiola Sena Vieira Silveira** e **Alexandre Nunes Zucarato**, pela editoração eletrônica do livro.
- ☑ Ao engenheiro **Marcos Fischborn** pelos desenhos e **Hudson Steffani Soares Rosa** pela elaboração da capa.
- ☑ Ao professor **Fernando Mendes Azevedo**, pela apresentação dessa edição.
- ☑ A **José Carlos Luiz** e aos alunos de graduação **Ernani Costa Valério** e **Marcelo de Assis Corrêa**, que contribuíram, também, com desenhos.

Agradecimento a todas as pessoas que trabalham no Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica - **LABPLAN**, e principalmente, aos Professores **Ildemar Cassana Decker**, **Edson Luiz da Silva** e ao Administrador de Redes **Nixon Savaris** e ao Secretário Administrativo **Renato Rosa da Costa**.

# Apresentação

O Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica (**EEL**) da Universidade Federal de Santa Catarina (**UFSC**), responsável direto pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e por dois Cursos de Graduação – o de Engenharia Elétrica e o de Engenharia Eletrônica - tem contribuído para a formação de recursos humanos de reconhecida competência cientifica e tecnológica.

A excelência conquistada pelo **EEL** deve-se a infraestrutura física laboratorial e, principalmente, ao árduo trabalho de seus professores em atividades de ensino, pesquisa e extensão.

O Prof. **Geraldo Kindermann** apresenta extensa obra abrangendo publicações nas áreas de projetos elétricos, engenharia de segurança e proteção de sistemas elétricos de potência. A qualidade, a profundidade e o ineditismo de sua obra devem-se a sua competência bem como a experiência profissional obtida por sua atuação por mais de trinta anos, na área.

Sua obra **CHOQUE ELÉTRICO**, que chega a sua 4ª edição, constitui importante contribuição para o estudo e entendimento do tema "fibrilação ventricular do coração pelo choque elétrico" e suas implicações.

Trabalhando na área de Engenharia Biomédica atuei no Programa de Pós-graduação em Ciências Médicas (**PPG-CM**) da **UFSC** por mais de quinze anos tendo adotado este livro como obra de referência, particularmente na disciplina Informática e Tecnologia Médicas. Os profissionais da saúde, meus alunos, mostraram-se extremamente interessados pelo assunto dado sua importância devido à crescente incorporação de Equipamentos Eletromédicos (**EEM**) na área.

É minha convicção, portanto, que esta nova edição é consequência direta da importância que o assunto apresenta não somente para profissionais e estudantes de engenharia como também para aqueles da área da saúde.

**Prof. Fernando Mendes de Azevedo**
Chefe do Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica
Universidade Federal de Santa Catarina

# Prefácio

Engenheiro Eletricista e também Engenheiro de Segurança do Trabalho, há muitos anos labutando nas áreas de Engenharia, Segurança e Biomédica, acompanhei a grande frustração dos médicos e engenheiros na falta de conhecimento e publicações no tocante à influência da corrente elétrica do choque no corpo humano.

Nos cursos de "**Choque Elétrico**", o fenômeno da fibrilação ventricular era apenas comentado. Portanto, esse livro foi escrito de modo a ser um elo entre as áreas Médica e de Engenharia Elétrica, podendo ser usado como fonte de consulta e como livro texto de cursos de Segurança que envolva eletricidade. Foi escrito numa linguagem simples, mas profunda, de modo a atingir um amplo espectro de pessoas de várias áreas.

Foi introduzido intencionalmente o último capítulo sobre "**Riscos em Equipamentos Hospitalares**", com o intuito de esclarecer que os equipamentos elétrico-eletrônicos estão sendo cada vez mais empregados nos assessoramentos, monitoramentos e tratamento de pacientes e também aplicados de maneira invasiva no interior do corpo humano, sendo que um problema ou defeito nos mesmos produz riscos de choque elétricos graves, inclusive o da Fibrilação Ventricular do coração.

Espero que este livro venha realmente a contribuir tanto na área médica como na de engenharia na segurança dos trabalhadores das indústrias e das empresas de energia elétrica desse país.

O Autor.

# Índice Geral

## Capítulo I – Choque Elétrico

1.1 Introdução ..... 1
1.2 Exposições ao Choque Elétrico ..... 3
1.3 Choque Elétrico ..... 5
1.4 Espraiamento da Corrente do Choque Elétrico ..... 7
1.5 Macro Choque ..... 8
1.6 Micro Choque ..... 9
1.7 Tipos de Choque Elétricos ..... 10
1.8 Choque Estático ..... 11
1.9 Choque Dinâmico ..... 13
1.10 Descargas Atmosféricas ..... 14
1.11 Tensão de Toque ..... 15
1.12 Tensão de Passo ..... 18
1.13 Considerações Finais ..... 19

## Capítulo II – Coração Humano

2.1 Introdução ..... 21
2.2 Célula ..... 22
2.3 Corpo Humano ..... 23

2.4 Estômago ..... 23
2.5 Sangue ..... 23
2.6 Pulmões ..... 24
2.7 Coração Humano ..... 24
2.8 Veia e Artéria ..... 26
2.9 Funcionamento Mecânico do Coração ..... 26
2.10 Fibras Musculares do Coração ..... 30
2.11 Funcionamento Elétrico do Coração ..... 30
2.12 Velocidade de Propagação do Pulso Elétrico ..... 33
2.13 Forma do Sinal Elétrico Pelo Coração ..... 34
2.14 Eletrocardiograma (ECG) ..... 35
2.15 Fases do Ciclo Cardíaco ..... 39
2.16 Contrações dos Átrios ..... 39
2.17 Contrações dos Ventrículos ..... 39
2.18 Repolarização das Fibras Musculares dos Ventrículos ..... 40
2.19 Ciclo Cardíaco ..... 42
2.20 Pressão Arterial ..... 43
2.21 Considerações Finais ..... 44

**Capítulo III – Fibrilação Ventricular do Coração Devido ao Choque Elétrico**

3.1 Introdução ..... 45
3.2 Parada Cardíaca ..... 46
3.3 Fibrilação Ventricular do Coração Humano ..... 46
3.4 Fibrilação Ventricular Devido ao Choque Elétrico ..... 48
3.4.1 Teoria da Vibração Distinta das Camadas Estratificadas das Paredes do Coração ..... 49
3.4.2 Teoria do Despertar Simultâneo dos Marca-passos Ectópicos do Coração ..... 53
3.4.3 Teoria da Reentrada das Fibras Musculares dos Ventrículos ..... 54
3.5 Sintomas da Fibrilação Ventricular ..... 55
3.6 Desfibrilador Elétrico ..... 56
3.7 Regulagem no Desfibrilador Elétrico ..... 61
3.8 Ajuste do Desfibrilador Elétrico ..... 63

3.9 Posição dos Elétrodos no Corpo Humano ..... 65
3.10 Pasta Eletrolítica ..... 67
3.11 Danos Pós-desfibrilatório ..... 68
3.12 Causas da Fibrilação Ventricular ..... 70
3.13 Primeiros Socorros Relativos a Fibrilação Ventricular ..... 71
3.14 Massagem Cardíaca ..... 72
3.15 Respiração Artificial ..... 74
3.16 Massagem Cardíaca e Respiração Artificial ..... 76
3.17 Necropsia ..... 78

## Capítulo IV – Efeitos do Choque Elétrico no Corpo Humano

4.1 Introdução ..... 79
4.2 Choque Elétrico ..... 80
4.3 Região de Contato do Choque Elétrico ..... 81
4.4 Percurso e Espraiamento da Corrente do Choque Elétrico ..... 82
4.5 Área de Contato ..... 84
4.6 Duração do Choque Elétrico ..... 84
4.7 Intensidade da Corrente do Choque Elétrico ..... 85
4.8 Tipo de Corrente do Choque Elétrico ..... 87
4.9 Contração Muscular Pelo Choque Elétrico ..... 88
4.10 Limiar da Sensibilidade da Corrente de Choque ..... 89
4.11 Corrente de Não Largar ..... 90
4.12 Tetanização do Músculo Pelo Choque Elétrico ..... 90
4.13 Frequência da Corrente de Choque Elétrico ..... 91
4.14 Efeito *Skin* ..... 93
4.15 Tensão do Choque Elétrico ..... 93
4.16 Resistência Elétrica do Corpo Humano ..... 95
4.17 Pele Humana ..... 98
4.18 Classificação da Pele Humana ..... 100
4.19 Resistência do Corpo Humano de Acordo com a Classificação da Pele ..... 102
4.20 Corrente de Choque em AC no Corpo Humano versus Tempo ..... 103
4.21 Curvas de Segurança da Tensão do Choque de Acordo com a Classificação da Pele ..... 104
4.22 Limite de Corrente de Choque Para Não Causar Fibrilação

Ventricular do Coração ..... 106
4.23 Tensão de Toque Máxima Para Não Causar Fibrilação Ventricular do Coração ..... 107
4.24 Tensão de Passo Máxima Para Não Causar Fibrilação Ventricular do Coração ..... 107
4.25 Corrente Elétrica Através do Coração ..... 108
4.26 Queimaduras Devido ao Choque Elétrico ..... 112
4.27 Parada Respiratória ..... 113
4.28 Parada Cardíaca Devido ao Choque Elétrico ..... 114
4.29 Eletrólise no Sangue ..... 114
4.30 Perda da Coordenação Motora ..... 115
4.31 Perda da Sensibilidade ..... 115
4.32 Danos no Cérebro ..... 116
4.33 Danos na Visão ..... 117
4.34 Danos Renais ..... 117
4.35 Fibrilação Atrial do Coração Devido ao Choque Elétrico ..... 118
4.36 Prolapso Devido ao Choque Elétrico ..... 119
4.37 Estado de Saúde do Indivíduo ..... 119
4.38 Perfil da Pessoa ..... 120
4.39 Arco Elétrico ..... 120
4.40 Choques Elétricos Especiais ..... 121
4.41 Considerações Finais ..... 122

## Capítulo V – Riscos do Choque Elétrico

5.1 Introdução ..... 123
5.2 Aterramento Elétrico ..... 124
5.3 Riscos do Choque Estáticos ..... 125
5.4 Risco do Choque Elétrico Direto ..... 126
5.5 Choque Elétrico Indireto ..... 127
5.6 Trabalhador ..... 128
5.7 Regra Básica da Instalação de Equipamento Elétrico ..... 130
5.8 Regras de Segurança da Instalação do Equipamento ..... 132
5.9 Projetos da Instalação Elétrica ..... 133
5.10 Lâmpada Incandescente ..... 133
5.10.1 Instalação Errada da Lâmpada Incandescente ..... 133

5.10.2 Instalação Aparentemente Correta da Lâmpada Incandescente.....134
5.10.3 Instalação segura da Lâmpada Incandescente.....136
5.11 Geladeira.....137
5.12 Tomadas Simples e Tripolar.....138
5.13 Tomada Padrão Brasileiro.....141
5.14 Chuveiro Elétrico.....145
5.15 Instalação do Chuveiro Elétrico.....145
5.16 Chuveiros Elétricos com Resistências Blindadas.....149
5.17 Chuveiros com Comandos Eletrônicos.....150
5.18 Choque no Registro do Chuveiro Elétrico.....150
5.19 Diferenciais Residuais (DRs).....151
5.20 Holofotes e Postes Metálicos Ornamentais.....158
5.21 Cortador de Grama.....158
5.22 Botão de Campainha.....159
5.23 Cercas Metálicas.....160
5.24 Ferro Elétrico.....162
5.25 Fios Flexíveis.....163
5.26 Fios Caídos.....163
5.27 Poda ou Corte de Árvores.....164
5.28 Antena de TV ou Rádio.....165
5.29 Canteiros de Obras.....165
5.30 Crianças.....167
5.31 Bolas de Sinalização.....168
5.32 Considerações Finais.....169

## Capítulo VI – Riscos em Equipamentos Hospitalares

6.1 Introdução.....171
6.2 Densidade de Corrente no Micro Choque.....172
6.3 Cateterismo.....173
6.4 Marca-passo Artificial.....175
6.5 Eletrocardiograma.....183
6.6 Desfibrilador Elétrico.....185
6.7 Bisturi Elétrico.....188
6.8 Bisturi Elétrico de Corte.....188
6.9 Bisturi Elétrico de Coagulação.....191

6.10 Risco do Bisturi Elétrico ..... 192
6.11 Considerações Finais ..... 195

**Bibliografia** ..... 196

# Capítulo I

# Choque Elétrico

## 1.1 Introdução

Mesmo antes de a humanidade ter conhecimento da eletricidade, o ser humano e os animais já eram submetidos aos riscos do choque elétrico. Choques elétricos estes, oriundos das descargas diretas ou indiretas dos raios, que produziam mortes, diretas ou indiretamente, pelos efeitos das tensões elétricas de passo ou toque. Por ser a descarga atmosférica um fenômeno rápido e forte, sua presença sempre foi respeitada, produzindo temeridade, sendo geralmente seus efeitos associados à ira dos deuses [1].

Somente com o domínio da ciência da eletricidade o ser humano evoluiu, usufruindo freneticamente de todos os seus benefícios.

No início, foram construídas as primeiras redes de energia elétrica e, associados aos seus benefícios, apareceram também vários problemas de ordem operacional, sendo os mais graves:

- ☹ o choque elétrico, comprometendo a segurança humana e de animais;
- ☹ danos nos equipamentos, devidos aos efeitos dos curtos-circuitos associados ao arco elétrico no ponto da falha;
- ☹ os incêndios, provocados especialmente pelo arco elétrico no ponto do curto-circuito.

Desde então o homem convive com esses problemas, sendo o mais grave para a segurança humana, o "choque elétrico". O benefício da eletricidade foi de tal monta para a humanidade, e com a demanda crescente, foram necessários construir redes elétricas para todo lado, sendo que hoje a população vive literalmente imersa num circuito elétrico. As redes elétricas envolvem praticamente todo o globo terrestre, sendo o material isolante, as barreiras e o distanciamento, os elementos que separam as tensões elétricas perigosas da população.

Atualmente, os condutores energizados perfazem milhares de milhões de quilômetros, portanto, aleatoriamente o defeito (ruptura ou fissura da isolação) aparecerá em algum lugar, produzindo um potencial de risco ao choque elétrico. Como a população atual da terra é enorme, estimada em 6,5 bilhões de habitantes, haverá sempre alguém próximo do defeito e o acidente será inevitável.

Devido ao gigantismo da rede elétrica mundial e da população da terra, o choque elétrico passa a ser um evento corriqueiro, e pode-se considerar, que cada pessoa já recebeu pelo menos um choque elétrico, sendo muitos destes fatais ou com sequelas.

Nesse capítulo e nos seguintes procura-se analisar com mais profundidade, o choque elétrico, seus efeitos e consequências no ser humano.

Portanto, a compreensão do mecanismo do efeito da corrente elétrica no corpo humano é de fundamental importância para a efetiva prevenção e combate aos riscos provenientes do choque elétrico. Em termos de riscos fatais, o choque elétrico, de um modo geral, pode ser analisado sob dois aspectos:

- correntes de choques elétricos de baixa intensidade, sendo o efeito mais grave a considerar o da fibrilação ventricular do coração;

- correntes de choques de alta intensidade, provenientes de acidentes de alta tensão, sendo o efeito térmico o mais grave.

A fibrilação ventricular do coração, grande responsável pelas mortes no setor de energia elétrica, é ainda um fenômeno tratado de maneira inadequada, tanto nos cursos de Engenharia Elétrica quanto nos cursos de Segurança, suscitando distorções e diversas contradições.

Assim, pretende-se nesse livro, fornecer todos os subsídios necessários para uma correta e coerente compressão do fenômeno intrínseco da fibrilação ventricular do coração decorrente do choque elétrico.

## 1.2 Exposições ao Choque Elétrico

As pessoas que usufruem da energia elétrica, já tiveram a "oportunidade" de sentir os efeitos e as sensações provenientes do choque elétrico. O primeiro choque elétrico, talvez, já foi esquecido, mas permanece ativo, o seu temor para toda a vida. Do ponto de vista da segurança isso é bom, porque se passa a respeitar de modo geral a eletricidade.

O risco do choque elétrico passa a ser um evento comum devido ao grande número de fios, cabos e equipamentos elétricos de qualquer natureza utilizados pela população. Numa cidade, a população vive dentro de um circuito elétrico. Há redes elétricas energizadas por todos os lados, isto é, no piso, paredes, tetos, ruas, equipamentos fixos ou móveis, etc... O material isolante é o elemento principal que separa as partes energizadas da população.

Qualquer fissura, rompimento ou perda da isolação no circuito elétrico, produzirá um curto-circuito ou deixará o equipamento sob-risco de produzir choque elétrico.

Todo centro urbano é hoje uma grande concentração de consumo de energia elétrica. Para atender a esta necessidade a rede de distribuição primária, aérea ou subterrânea, está adentrando mais na cidade, e com níveis de tensão elétrica mais elevada. A figura 1.2.1 mostra uma configuração típica de redes primária e secundária do sistema de distribuição de energia elétrica para os padrões 13,8 kV e 380/220V.

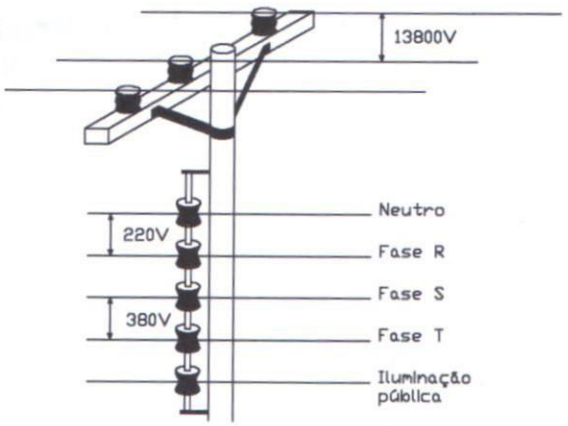



Figura 1.2.1 – Exemplo de uma rede aérea de distribuição com tensão primária de 13,8 kV e secundária de 380/220 Volts

No caso da figura 1.2.1, a passagem da tensão primária para a secundária é feita pelo transformador **Δ - Y**, conforme apresentado na figura 1.2.2.

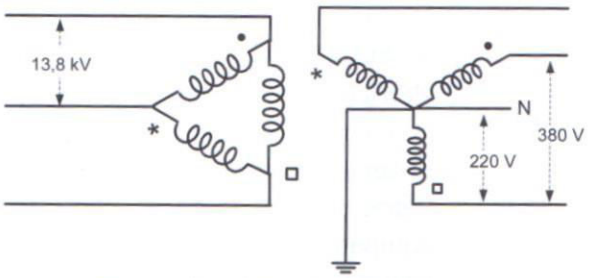



Figura 1.2.2 – Transformador **Δ - Y**

A figura 1.2.3 mostra o percurso da corrente elétrica que provoca o choque elétrico em uma pessoa.

Esse é o caso, por exemplo, de uma instalação monofásica, onde o fio fase, por um problema qualquer de perda de isolação, energiza a carcaça metálica do chuveiro elétrico (observação: No lugar da carcaça do chuveiro poderia ser qualquer outro equipamento, tal como, máquina de lavar roupas, geladeira, freezer, ar condicionado, etc...). O cidadão, isto é, o leigo, ao tocar na carcaça, recebe o choque elétrico. A corrente elétrica vem pelo fio fase, passa pela carcaça, pelo corpo da pessoa e entra na terra. Em seu retorno, parte desta corrente sobe pelo aterramento da entrada de energia do consumidor, retornando pelo neutro, até a bobina do transformador. A outra

parcela sobe direto no aterramento do transformador. Ao circular pelo corpo humano, a corrente elétrica provoca o choque elétrico. Esta corrente de choque pelo corpo humano passa também pelo coração, podendo provocar a Fibrilação Ventricular.

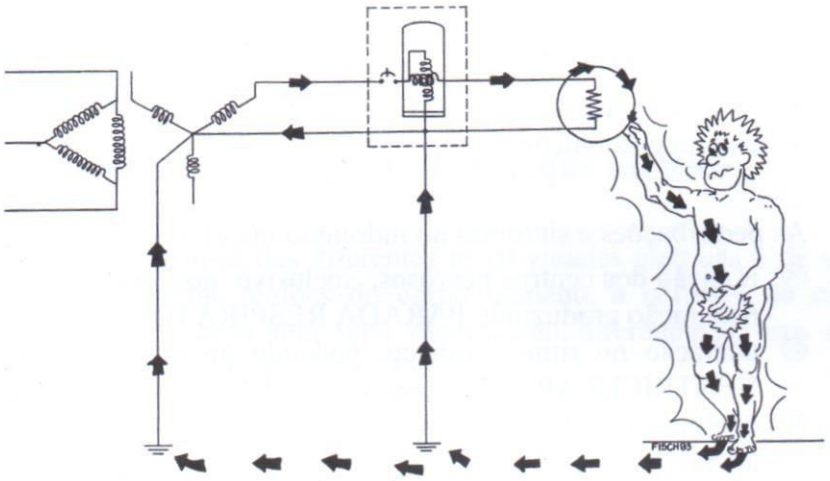


Figura 1.2.3 – Trajeto da corrente do choque elétrico

Para haver o choque elétrico não basta apenas ter contato com um material energizado. Devem existir, também, condições para que a corrente tenha um caminho de retorno à rede elétrica. Este retorno pode ser através da terra ou por outro material condutor da rede elétrica.

## 1.3 Choque Elétrico

Choque elétrico é a perturbação de natureza e efeitos diversos que se manifesta no organismo humano ou animal quando este é percorrido por uma corrente elétrica.

Os efeitos das perturbações variam e dependem:

- do percurso da corrente elétrica pelo corpo humano;
- da intensidade da corrente elétrica;
- do tempo de duração do choque elétrico;
- da área de contato do choque elétrico;
- da pressão do contato;

- da espécie da corrente elétrica;
- da frequência da corrente elétrica;
- da tensão elétrica;
- das condições da pele do indivíduo;
- da região do choque no corpo humano;
- do espraiamento da corrente de choque pelo corpo humano;
- da constituição física do indivíduo;
- do estado de saúde do indivíduo;
- de outras condições.

As perturbações e sintomas no indivíduo manifestam-se por:

- ☹ inibição dos centros nervosos, inclusive dos que comandam a respiração produzindo PARADA RESPIRATÓRIA;
- ☹ alteração no ritmo cardíaco, podendo produzir FIBRILAÇÃO VENTRICULAR e uma consequente PARADA CARDÍACA;
- ☹ queimaduras profundas, produzindo NECROSE do tecido;
- ☹ alterações no sangue provocadas por efeitos térmicos e eletrolíticos da corrente elétrica;
- ☹ perturbação no sistema nervoso;
- ☹ sequelas em vários órgãos do corpo humano.

Se o choque elétrico for devido ao contato direto com a tensão da rede todas as manifestações e sintomas podem ocorrer.

Para os choques elétricos devidos à tensão de toque e passo, impostas pelo sistema de aterramento durante o defeito na rede elétrica, a manifestação mais importante a ser considerada é a da FIBRILAÇÃO VENTRICULAR DO CORAÇÃO, que será assunto específico do Capítulo III.

As outras manifestações serão analisadas no Capítulo IV.

Observação: Deve-se sempre considerar que todo choque elétrico é perigoso.

Observe-se que mesmo para choques com correntes de pequena intensidade as consequências podem ser muito sérias. Em cirurgias, por

exemplo, onde são usados equipamentos eletroeletrônicos, um pequeno choque interno no corpo do paciente, pode causar a fibrilação ventricular do coração e também movimentos bruscos e involuntários, descolando as placas coladas ao corpo. Placas essas que devem estar intimamente coladas à pele do corpo, para produzir um bom contato elétrico e garantir o funcionamento adequado dos equipamentos cirúrgicos, principalmente o bisturi elétrico.

## 1.4 Espraiamento da Corrente do Choque Elétrico

Em consequência das diferentes resistividades elétricas e de seções transversais das várias regiões do corpo humano, a corrente do choque elétrico dentro do corpo tem uma distribuição diferenciada, isto é, um espraiamento, como mostra a figura 1.4.1.

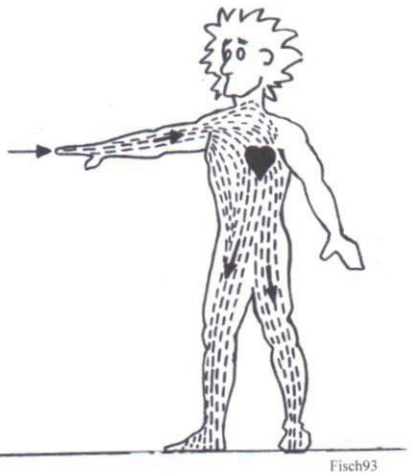



Figura 1.4.1 – Espraiamento da corrente do choque no corpo humano

Evidentemente, em decorrência disto, as várias regiões do corpo humano, para uma corrente de choque, ficam sujeitas a diferentes densidades de corrente.

Portanto, o efeito da corrente do choque se dá de maneira diferenciada no corpo humano. Deste modo os efeitos térmicos são mais intensos nas regiões da alta densidade de corrente, podendo produzir queimaduras de alto risco (grau). Já na área de baixa densidade de corrente,

o calor produzido é pequeno. Devido à área da região do tórax ser maior, a densidade de corrente é pequena, diminuindo os efeitos térmicos, de contração e fibrilação no coração. Isto é positivo do ponto de vista da segurança humana.

## 1.5 Macro Choque

O macro choque é definido quando a corrente do choque entra no corpo humano pelo lado externo, figura 1.5.1.

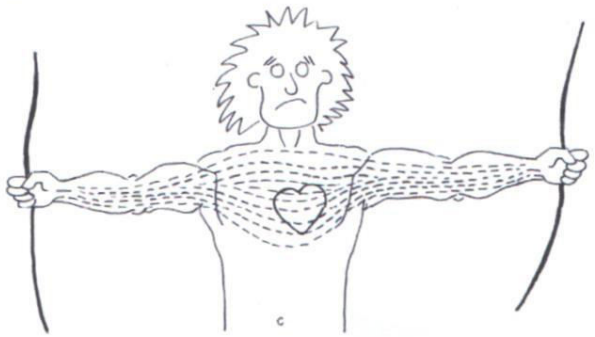


Figura 1.5.1 – Macro choque

A corrente entra pela pele, invade o corpo, e sai novamente pela pele em outro ponto. Ou seja, o corpo humano está com toda a sua resistência elétrica inserida no trajeto da corrente. A maior resistência elétrica do corpo humano esta na região da pele, tendo seu maior valor na epiderme. Assim, a corrente do choque fica praticamente limitada pela alta resistência elétrica da pele humana. O valor da corrente elétrica não depende somente do nível da diferença de potencial do choque, mas também da qualidade da pele humana.

Macro choque é o choque comum que ocorre com maior frequência em trabalhadores e na população em geral. Qualquer pessoa que acidentalmente tocar num material energizado, ou num equipamento elétrico que tenha defeito na sua isolação, ficará submetida ao choque elétrico do tipo Macro Choque.

## 1.6 Micro Choque

Micro choque é o choque elétrico que ocorre no interior do corpo humano. Por exemplo, a figura 1.6.1 mostra esse tipo de choque elétrico, decorrente de uma falha elétrica durante o exame invasivo do coração com o cateter.

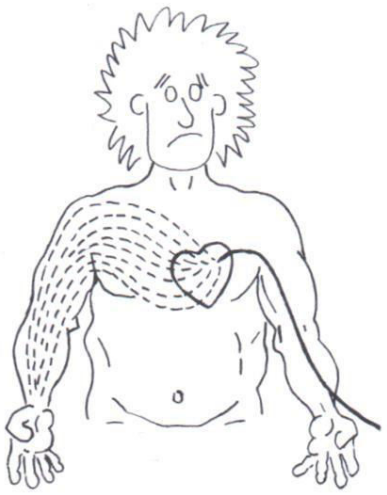


Figura 1.6.1 – Micro choque no exame do coração com o cateter

Esse choque poderá ocorrer entre um condutor interno e a pele, ou entre dois condutores internos no corpo humano. Nesses casos, a resistência da pele é muito baixa, porque os eletrodos de monitoramento dos equipamentos estão juntamente com a pasta eletrolítica a base de gel, colados na pele. A resistência elétrica humana nessas condições é muito baixa, tornando o choque mais perigoso.

No caso da figura 1.6.1, o defeito no cabo do cateter (ou no circuito do equipamento eletrônico), produz vazamento da corrente diretamente no coração. A densidade de corrente no coração é alta com grande possibilidade causar a fibrilação ventricular.

Devido aos equipamentos eletrônicos utilizados em processos invasivos no corpo humano, o micro choque poderá ocorrer, daí a necessidade da certificação e manutenção de qualidade desses equipamentos. Processos invasivos são os decorrentes de:

- Cirurgias;
- Cateterismos;
- Endoscopias, que podem ser do tipo:
  - oral (gastrointestinal);
  - anal (colonoscopia);
  - nasal (rinoscopia);
  - vias respiratórias inferiores (broncoscopia);
  - urinária (cistoscopia);
  - vaginal;
  - incisivas, feitas por uma pequena incisão na pele.
- Outros.

O micro choque ocorre principalmente por defeitos em equipamentos médico-hospitalares. Este assunto será objeto de estudo do Capítulo VI.

## 1.7 Tipos de Choques Elétricos

Dependendo do equipamento utilizado, a corrente do choque elétrico pode produzir no corpo humano efeitos diversos ainda não totalmente esclarecidos e conhecidos. Os estudos, análises e observações se restringem atualmente aos efeitos da corrente alternada (CA) e corrente contínua (DC). Isto porque, a energia elétrica que é utilizada no mundo é em corrente alternada na frequência de 50 ou 60Hz.

O corpo humano, mais precisamente sua resistência orgânica à passagem da corrente elétrica alternada, é uma impedância elétrica composta por uma resistência elétrica associada a uma componente com comportamento levemente capacitivo, conforme expressão 1.7.1.

$$\dot{Z}_{\text{corpo humano}} = R_{\text{corpo humano}} - jX_{\text{corpo humano}} \qquad (1.7.1)$$

Esse comportamento capacitivo deve-se, principalmente à estrutura da pele humana, que tem características semicondutoras, e dos órgãos e ossos que tem uma disposição estratificada dentro do corpo humano. Análises dessas características serão apresentadas nos itens 4.16 e 4.17.

De um modo geral, a corrente do choque terá comportamento

idêntico ao da tensão de trabalho do equipamento em estudo.

O choque elétrico que aterroriza o ser humano está globalmente dividido nas categorias apresentadas a seguir:

- ☹ choque estático;
- ☹ choque dinâmico;
- ☹ descargas atmosféricas.

Esses itens serão analisados a seguir.

## 1.8 Choque Estático

Choque estático é o choque elétrico obtido pela descarga elétrica de um capacitor ou por qualquer corpo carregado eletricamente.

Geralmente, as cargas elétricas ficam acumuladas nos capacitores parasitas dos equipamentos ou em linhas de transmissão desligadas. Portanto, este choque se dá pelo escoamento destas cargas elétricas no corpo humano, figura 1.8.1.

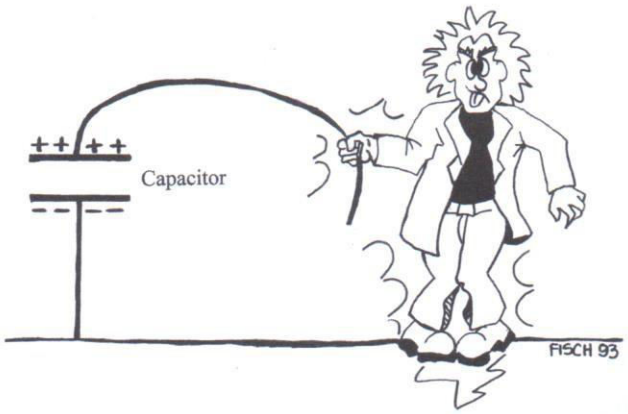



Figura 1.8.1 – Choque estático

Neste caso, o corpo humano é o condutor que faz a ligação entre os dois terminais das placas do capacitor com polaridades diferentes. A corrente é rápida, decai exponencialmente de acordo com a constante de tempo do circuito, figura 1.8.2 e expressão 1.8.1.

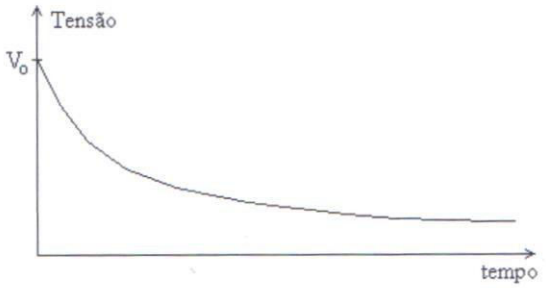



Figura 1.8.2 – Tensão exponencial do choque

$$v(t) = v_0\, e^{-\frac{t}{C.R_{corpo\ humano}}} \quad [\text{Volts}] \tag{1.8.1}$$

Onde:

v(t) $\Rightarrow$ é a tensão de choque elétrico

$v_0$ $\Rightarrow$ é a tensão inicial da carga elétrica acumulada no capacitor

t $\Rightarrow$ tempo em segundos

C $\Rightarrow$ capacitância do capacitor em Farad

Nesse caso, dependendo do nível de energia das cargas acumuladas, o choque elétrico pode ser ou não fatal.

O efeito capacitivo está presente nos mais diferentes materiais e equipamentos com os quais o homem convive. Um exemplo típico é o que acontece em veículos que se movem em locais de clima seco. Com o movimento, o atrito com o ar, gera cargas elétricas que se acumulam na carcaça (lataria) do veículo. Portanto, entre o veículo e o solo, passa a ter uma diferença de potencial. Dependendo do acúmulo das cargas elétricas, poderá haver o perigo de faiscamento ou de choque elétrico no instante em que uma pessoa toca no veículo, figura 1.8.3.

Os faiscamentos podem produzir graves consequências, dependendo da carga elétrica acumulada no veículo. Em países que tem clima muito seco costuma-se utilizar presa a parte metálica do veículo, uma corrente ou fita metálica que fica arrastando no solo. Portanto, qualquer carga elétrica gerada é imediatamente escoada ao solo, eliminando o perigo de acúmulo de cargas no veículo.

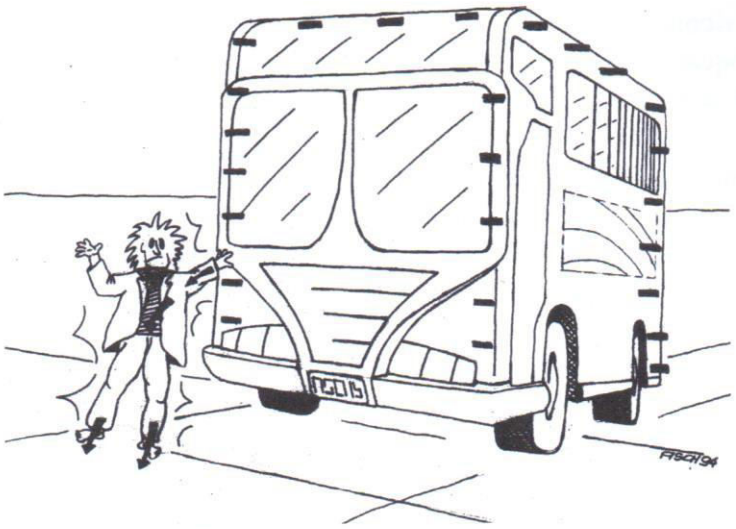


Figura 1.8.3 – Descarga estática

## 1.9 Choque Dinâmico

São os choques tradicionais, obtidos ao tocar-se um elemento energizado da rede de energia elétrica, figura 1.9.1.

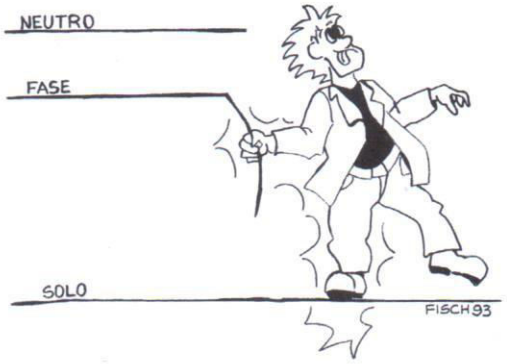



Figura 1.9.1 – Choque dinâmico

Esse choque elétrico se dá devido a:

- ☹ tocar acidentalmente na parte viva de condutor energizado;
- ☹ defeito, fissura ou rachadura na isolação;
- ☹ defeito, fissura na isolação interna de um equipamento elétrico,

consequentemente energizando outros componentes, tal como a carcaça ou parte metálicas de outros equipamentos;

- ☹ acidente na rede de energia elétrica, tais como queda de condutor, abalroamento de veículos no poste, etc...

Este é o tipo de choque mais perigoso porque a rede de energia elétrica mantém a pessoa energizada, ou seja, a corrente de choque persiste continuadamente. O corpo humano é resistente, e nos primeiros instantes suporta bem o choque elétrico de baixa tensão, mas com a manutenção da corrente passando pelo corpo, os órgãos internos vão sofrendo danos e perdendo sua capacidade de resistir. Isto se dá pelo fato de o choque elétrico produzir diversos efeitos no corpo humano, tais como:

- ✧ elevação da temperatura dos órgãos do corpo humano devido ao aquecimento produzido pela corrente do choque;
- ✧ tetanização dos músculos do corpo humano;
- ✧ superposição da corrente do choque com as correntes neuro-transmissoras que comandam o corpo humano, criando uma pane geral;
- ✧ comprometimento do coração, quanto ao ritmo de batimento cardíaco e possibilidade da fibrilação ventricular;
- ✧ efeito de eletrólise, mudando a concentração de sais minerais do sangue do corpo humano;
- ✧ comprometimento da respiração;
- ✧ prolapso, isto é, deslocamento de músculos e órgãos internos de sua devida posição;
- ✧ comprometimento de outros órgãos, tais como: rins, cérebro, vasos, órgãos genitais e reprodutores.

Muitos órgãos, aparentemente sadios, só vão apresentar sintomas devido aos efeitos da corrente de choque após muitos dias ou meses, ficando difícil diagnosticar que esses problemas foram decorrentes do choque elétrico.

## 1.10 Descargas Atmosféricas

As descargas atmosféricas (raios) são gigantescas descargas elétricas

entre nuvens, ou entre nuvem e a terra, que podem produzir choques elétricos do mesmo tipo do apresentado no item 1.8, isto é, proporcionado por enormes capacitores, portanto, com altíssima corrente. Este assunto está completamente explorado na bibliografia [1].

Os raios podem incidir diretamente na vítima, como está apresentado na figura 1.10.1, ou cair próximo, gerando tensões de toque e passo perigosas.

Figura 1.10.1 – Descarga elétrica atmosférica no azarado

## 1.11 Tensão de Toque

É a tensão elétrica existente entre os membros superiores e inferiores de um indivíduo. Em termos de choque acidental, a tensão de toque aparece devido a um defeito no equipamento.

Por exemplo, seja um defeito de ruptura na cadeia de isoladores em que um cabo toca a torre de transmissão, figura 1.11.1.

O cabo condutor da linha de transmissão ao tocar na parte metálica da torre produz um curto-circuito do tipo monofásico a terra. A corrente de curto-circuito passará pela torre, entrará na terra e percorrerá o solo até atingir a malha da subestação, retornando pelo cabo da linha de transmissão até o local do curto-circuito.

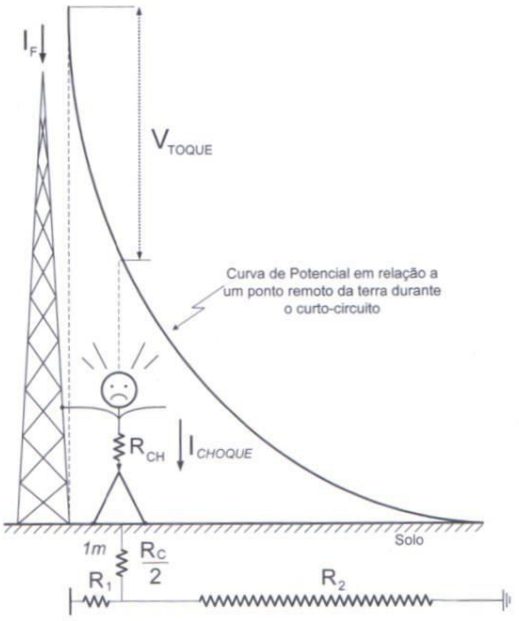



Figura 1.11.1 – Tensão de toque

No solo, a corrente de curto-circuito gerará potenciais distintos desde o "pé" da torre até uma distância remota. Esse potencial é representado pela curva da figura 1.11.1.

No momento do curto-circuito, uma pessoa que esteja tocando na torre, ficará submetida a um choque elétrico proveniente da tensão de toque. Isto é, entre a palma da mão e o pé, haverá uma diferença de potencial, que é a tensão de toque. Por norma, e nos projetos de Sistema de Aterramento, considera-se que a pessoa está afastada de 1m do equipamento em que está tocando com a mão. Neste caso, a resistência $R_1$ representa a resistência da terra desde o "pé" da torre até a distância de 1m. O restante do trecho da terra é representado pela resistência $R_2$.

A resistência do corpo humano para corrente alternada de 50 ou 60Hz, pele suada, e para tensão de toque de até 300V fica em torno de 1000 Ω.

Cada pé em contato com o solo terá uma resistência de contato representado por $R_{contato}$. Em relação a figura 1.11.1 a tensão de toque pode ser representada pelo circuito equivalente da figura 1.11.2.

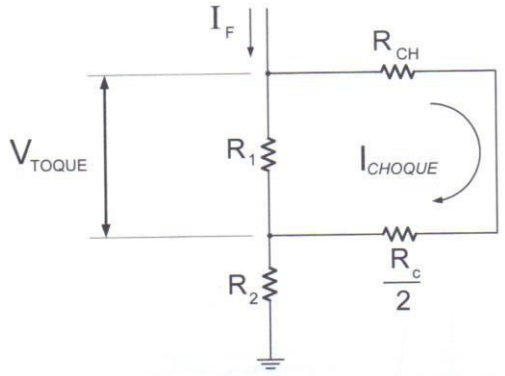



Figura 1.11.2 – Circuito equivalente para a tensão de toque

Assim, em relação a figura 1.11.2 a tensão de toque é expressa pela fórmula 1.11.1.

$$V_{toque} = \left( R_{corpo\ humano} + \frac{R_{contato}}{2} \right) I_{choque} \qquad (1.11.1)$$

Segundo recomendação da IEEE-80, pode-se considerar que:

$$R_{contato} = 3\rho_{solo} \qquad (1.11.2)$$

Onde:

$\rho_{solo} \Rightarrow$ resistividade superficial do solo, isto é, a resistividade da primeira camada da estratificação do solo

Deste modo à expressão fica:

$$V_{toque} = \left( 1000 + \frac{3\rho_{solo}}{2} \right) I_{choque}$$

$$V_{toque} = (1000 + 1{,}5\,\rho_{solo}) I_{choque} \qquad (1.11.3)$$

O aterramento no "pé" da torre só estará adequado se, no instante do curto-circuito monofásico a terra, o valor da tensão de toque ficar abaixo do limite de tensão para não causar fibrilação ventricular do coração. Note que a tensão de toque é perigosa porque o coração está no trajeto da corrente de choque, aumentando o risco da fibrilação ventricular.

## 1.12 Tensão de Passo

É a tensão elétrica existente entre os dois pés devido à ocorrência de um curto-circuito monofásico a terra no equipamento ou na rede elétrica.

No caso de falha do cabo da linha a estrutura da torre de transmissão, (figura 1.12.1), a pessoa ficará submetida a tensão de passo entre os dois pés.

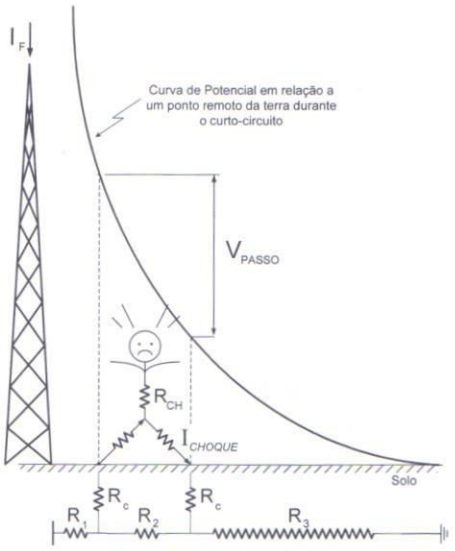



Figura 1.12.1 – Tensão de passo

Nos projetos de aterramento de acordo com a norma, consideram-se à distância entre os dois pés de 1m.

Para a falha apresentada na figura 1.12.1 pode-se considerar o circuito equivalente da figura 1.12.2.

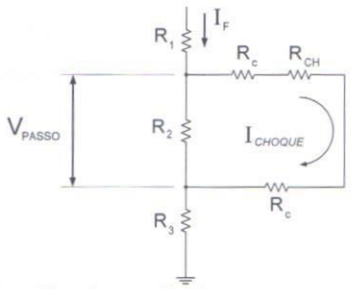



Figura 1.12.2 – Circuito equivalente para a tensão de passo

Pela figura 1.12.2, obtém-se a expressão 1.12.1.

$$V_{passo} = (R_{corpo\ humano} + 2R_{contato})I_{choque} \quad (1.12.1)$$

$$V_{passo} = (1000 + 2 \cdot 3\rho_{solo})I_{choque}$$

$$V_{passo} = (1000 + 6\rho_{solo})I_{choque} \quad (1.12.2)$$

O aterramento só estará adequado se a pior tensão de passo for menor do que o limite de tensão de passo para não causar fibrilação ventricular no ser humano.

Para o mesmo valor, a tensão de passo, é menos perigosa do que a tensão de toque. Isto se deve ao fato do coração humano não estar no percurso da corrente de choque proveniente da tensão de passo. Essa corrente vai de pé a pé, mas mesmo assim ela é perigosa. As veias e artérias e sua ramificações, vão da planta do pé até o coração, a corrente de choque devido à tensão de passo vai do pé até o outro pé, mas no trajeto a corrente que passa na região abdominal, se espraia e atinge o coração. Por este motivo, a tensão de passo é também perigosa e pode provocar a fibrilação ventricular.

Observe-se que as tensões geradas no solo pelo curto-circuito criam superfícies equipotenciais. Se a pessoa estiver com os dois pés na mesma superfície de potencial, a tensão de passo será nula, não havendo choque elétrico.

A tensão de passo poderá assumir uma gama de valores, que vai desde zero até a máxima diferença entre duas superfícies equipotenciais separadas de 1m.

No gado a tensão de passo se transforma em tensão de pata, isto é, de pata a pata. A tensão de pata é maior que a tensão de passo no homem, com o agravamento de que no gado a corrente de choque passa pelo coração. Portanto, o gado está mais sujeito a fibrilação ventricular que o homem.

## 1.13 Considerações Finais

Os riscos do choque elétrico são divididos em choque provenientes dos circuitos elétricos de baixa tensão e de alta tensão.

As normas denominam as classes de tensões do seguinte modo:

- NBR 5410 [15]:
  - 😐 Baixa Tensão (BT) $\leq$ 1000V em CA.
  - ☠ Alta Tensão (AT) $>$ 1000V em CA.
- NR 10 [105]:
  - ☺ Extra Baixa Tensão $\leq$ 50V em CA.
  - 😐 50V $<$ Baixa Tensão (BT) $\leq$ 1000V em CA.
  - ☠ Alta Tensão (AT) $>$ 1000V em CA.

O choque elétrico em baixa tensão (BT) tem geralmente correntes em baixa intensidade e os riscos fatais são os relativos ao da fibrilação ventricular do coração.

O choque elétrico em alta tensão (AT) tem geralmente correntes em alta intensidade e os riscos fatais são os relativos às queimaduras. Ou seja, a morte por queimaduras é muito rápida, ocorre antes da fibrilação dos ventrículos do coração.

# Capítulo II

# Coração Humano

## 2.1 Introdução

Excluindo o choque elétrico oriundo do toque direto na parte viva de redes de alta tensão, na qual a morte é decorrência de queimaduras graves, as outras possibilidades de perigo (de morte) são devidas praticamente à fibrilação ventricular do coração.

Portanto, os choques elétricos, que podem suscitar à fibrilação ventricular, são provenientes de:

- tensão de toque;
- tensão de passo;
- baixa tensão.

O conhecimento do fenômeno da **Fibrilação Ventricular** do coração pelo choque elétrico é importante para conscientizar a população e os técnicos das empresas dos riscos provenientes dos trabalhos envolvendo eletricidade.

A correlação das duas grandezas, corrente elétrica do choque e o tempo do mesmo, é que influenciará ou não na ocorrência da fibrilação ventricular do coração.

Para que o fenômeno da fibrilação ventricular seja bem compreendido, é importante primeiro conhecer o funcionamento normal do coração humano. Por este motivo, este capítulo é dedicado inteiramente a esse objetivo.

## 2.2 Célula

Célula é a menor estrutura viva. É o menor organismo vivo de um corpo. As células, devidamente agrupadas, cumprem outras funções, formando e gerenciando um organismo maior.

O corpo humano é constituído de uma quantidade enorme de células que, agrupadas de acordo com a estrutura do código genético, formam o fenótipo humano.

O importante a se considerar, no entanto, é que cada célula é um ser vivo. Esse ser vivo, como qualquer outro, nasce, cresce e morre.

Uma célula, para manter-se viva, necessita receber nutrientes e oxigênio ($\mathbf{O_2}$) e eliminar os resíduos produzidos. Juntamente com os nutrientes e oxigênio a célula, através do **Ciclo de Krebs**, elabora a energia para sua sobrevivência, resultando desse processo à liberação de água e gás carbônico ($\mathbf{CO_2}$), figura 2.2.1.

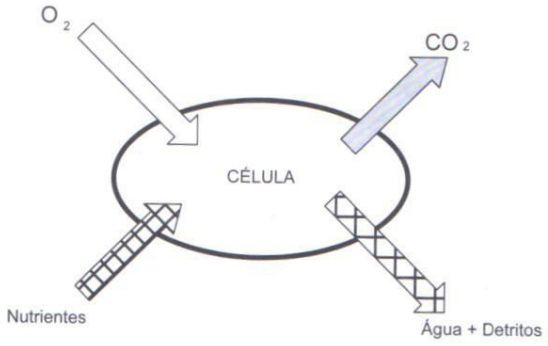



Figura 2.2.1 – Célula

## 2.3 Corpo Humano

O corpo humano é uma estrutura viva, constituída por um perfeito universo de células. No interior do corpo humano, há milhões de seres vivos, que convivem em perfeita simbiose e harmonia. Cada qual, prestando serviços distintos de modo que a máquina humana possa viver em perfeita saúde. O funcionamento integrado dos órgãos internos irá caracterizar o estado de saúde do corpo humano.

## 2.4 Estômago

O estômago é o órgão do corpo humano que recebe os alimentos transformados em massa alimentar pela boca, língua e saliva. No estômago, a massa alimentar é transformada pela adição de suco gástrico, mais movimentação intensa de músculos, em uma pasta mais fina onde os nutrientes são fracionados e enviados ao intestino. No intestino os alimentos são lentamente absorvidos pela corrente sanguínea e os nutrientes são levados a cada célula do corpo humano.

## 2.5 Sangue

O sangue, constituído de vários elementos importantes ao bom funcionamento do corpo humano, é o agente que possibilita o transporte dos nutrientes e oxigênio às células e faz o recolhimento dos resíduos produzidos e do gás carbônico ($\mathbf{CO_2}$). Por ser um líquido com grande concentração de sais minerais, o sangue é condutor de eletricidade. Por esse motivo, a corrente elétrica do choque invade todos os órgãos do corpo humano.

Há duas categorias de sangue:

- ☺ **Sangue Arterial** - é o sangue rico em $\mathbf{O_2}$ e pobre em $\mathbf{CO_2}$, tem cor vermelho intenso.
- ☺ **Sangue Venoso** - é o sangue com grande concentração de gás carbônico ($\mathbf{CO_2}$) e pobre em oxigênio ($\mathbf{O_2}$), com coloração

vermelho escuro. Este sangue é levado aos pulmões para se oxigenar, transformando-se em sangue arterial.

## 2.6 Pulmões

O pulmão tem a finalidade de efetuar a hematose, isto é, a troca de $CO_2$ pelo $O_2$ no sangue. Ou seja, o pulmão é o órgão que transforma o sangue venoso em sangue arterial.

Como apresentado na figura 2.9.1, a artéria pulmonar se ramifica formando uma complexa rede de vasos capilares, que recobrem os alvéolos dos pulmões. É na região dos alvéolos pulmonares onde se dá o limiar da troca do $CO_2$ pelo $O_2$ no sangue. O $CO_2$ sai do sangue e vai para o ar contido no pulmão, enquanto que o $O_2$ é captado pela hemoglobina se fixando no sangue. Localizados no tórax do corpo humano, há dois pulmões, um no lado direito e outro no lado esquerdo. O pulmão direito é maior do que o esquerdo. Isto se deve ao fato do coração estar mais posicionado no lado esquerdo ocupando um pouco deste espaço.

## 2.7 Coração Humano

O coração humano é um órgão, ou mais precisamente, uma bomba hemo-hidráulica, que bombeia o sangue para todo o corpo, promovendo uma perfeita irrigação nas células.

As células estão dispostas de maneira estática no corpo humano, isto é, elas estão nas suas posições pré-definidas. Portanto, é o sangue que leva os nutrientes e oxigênio ($O_2$) a cada célula e, ao mesmo tempo, recolhe o gás carbônico ($CO_2$) e os resíduos. O impulsionamento (bombeamento) do sangue é feito pelo coração. Portanto, o funcionamento adequado, vital e salutar de qualquer célula depende da eficiência da bomba cardíaca.

A irrigação sanguínea do corpo se dá através do grande sistema circulatório e o do sistema circulatório pulmonar.

O grande sistema circulatório é composto:

- ✧ do coração que bombeia o sangue;

- ✧ das artérias que transportam o sangue que sai do coração;
- ✧ da rede de vasos capilares arteriais, que levam o sangue a cada célula para o suprimento de nutrientes e de $\mathbf{O_2}$;
- ✧ da rede de vasos capilares venosos, que retiram das células o $\mathbf{CO_2}$ e os resíduos (uréia).
- ✧ das veias que conduzem o sangue ao coração.

O sistema circulatório pulmonar é composto:

- ✧ das artérias pulmonares que levam o sangue venoso do ventrículo direito do coração aos pulmões;
- ✧ da rede de vasos capilares que revestem os alvéolos dos pulmões, onde é feita a troca do $\mathbf{CO_2}$ pelo $\mathbf{O_2}$.
- ✧ da rede de vasos capilares que transportam o sangue arterial dos pulmões até as veias pulmonares;
- ✧ das veias pulmonares que conduzem o sangue arterial ao átrio esquerdo do coração.

O coração humano é composto de quatro cavidades, (figura 2.7.1), denominadas de átrios direito e esquerdo e ventrículos direito e esquerdo.

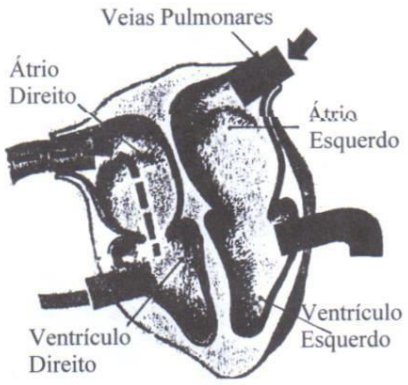



Figura 2.7.1 – Coração humano

Não há comunicação entre as cavidades do lado direito e esquerdo do coração. A passagem do sangue venoso do átrio direito ao ventrículo direito é feita através de uma válvula unidirecional, a **Válvula Tricúspide**. Do mesmo modo, a passagem do sangue arterial do átrio esquerdo para o ventrículo esquerdo é feita pela **Válvula Mitral**.

## 2.8 Veia e Artéria

Examinando a figura 2.7.1, independente do tipo de sangue, pode-se definir veia e artéria:

- Artéria é o conduto ou tubulação que transporta o sangue que sai do coração.
- Veia é o conduto ou tubulação que transporta o sangue que entra no coração.

Portanto, o sangue entra no coração através de uma veia, e sai pela artéria.

## 2.9 Funcionamento Mecânico do Coração Humano

Do ponto de vista mecânico, o coração é uma bomba hemo-hidráulica, que faz o sangue circular, pulsativamente e continuadamente pelo corpo humano. Figura 2.9.1.

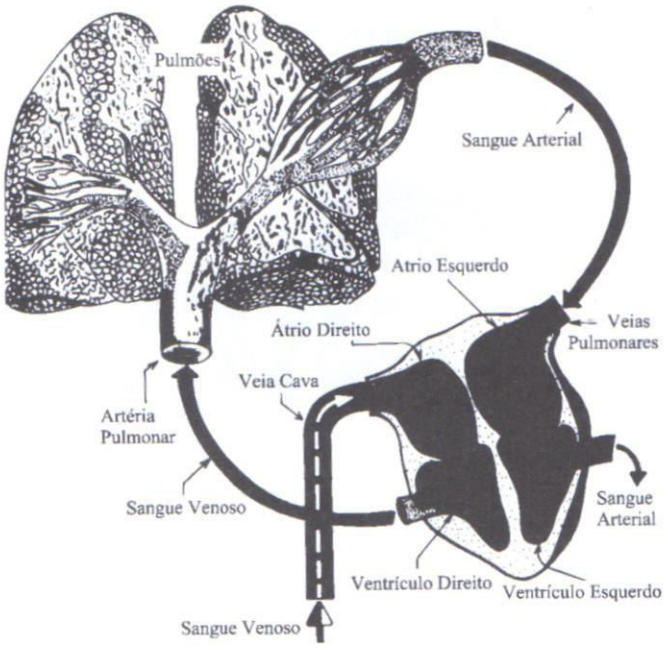



Figura 2.9.1 – Coração humano: bomba mecânica hemo-hidráulica

A figura 2.9.1 não é completa, é apenas representativa, mas é útil para a compreensão do mecanismo do funcionamento cardíaco. Um desenho mais realista do coração é apresentado na figura 2.9.2.

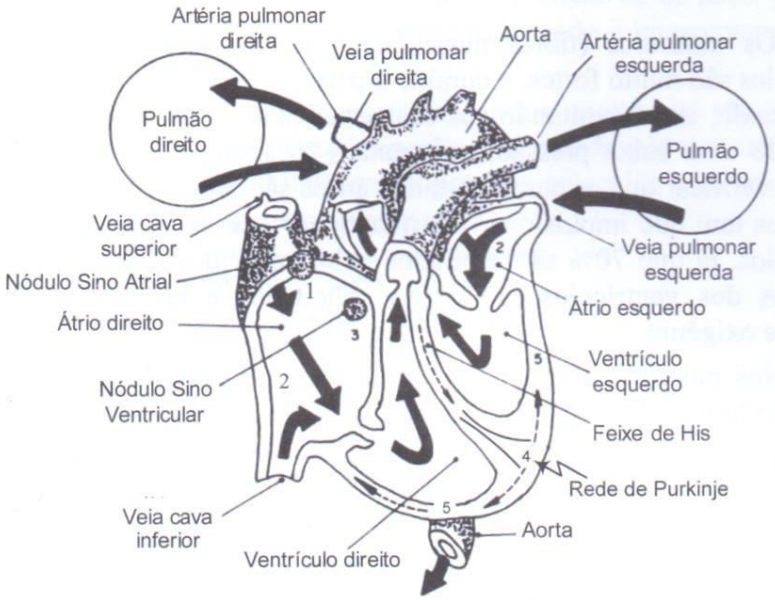



Figura 2.9.2 – Coração humano completo

Examinando a figura 2.9.2, o sangue venoso proveniente das células chega ao coração pelas veias cava inferior e superior e penetra na cavidade direita do coração, isto é, do átrio direito. Durante o funcionamento normal do coração, os músculos do átrio direito se contraem, impulsionando o sangue para o ventrículo direito. O período de enchimento ventricular é chamado de **diástole**. Com o ventrículo direito cheio de sangue, seus músculos cardíacos se contraem e o sangue venoso é impulsionado para as artérias pulmonares. Assim, todo o processo se repete e tem-se a circulação do sangue. Processo semelhante ocorre simultaneamente no lado esquerdo do coração. Na realidade os dois átrios se contraem juntos, o sangue passa dos átrios para os ventrículos, em seguida, dá-se a contração dos dois ventrículos e o sangue sai com pressão para fora do coração.

Examinando funcionamento do coração pelas figuras 2.9.1 e 2.9.2, verifica-se que os músculos cardíacos dos ventrículos são mais potentes que os músculos da região dos átrios. Os músculos dos átrios tem a incumbência

de apenas impulsionar o sangue dos átrios para os ventrículos, já os fibras musculares da região dos ventrículos, são os mais fortes e solicitados, porque têm que impulsionar o sangue, que sai do coração, para todo o corpo humano.

Os músculos (fibras musculares) que compõem as paredes dos ventrículos são muito fortes, e durante o período em que os ventrículos estão se relaxando, isto é, voltando aos seus estados normais, é criada dentro do ventrículo uma baixa pressão, que puxa ±70% sangue dos átrios. Assim, pode-se verificar que as contrações dos átrios são facilitadas, e os músculos dos átrios tem que impulsionar um quantitativo de 30% do sangue para os ventrículos, já que 70% são aspirados pelos músculos dos ventrículos. Os músculos dos ventrículos são muito solicitados e necessitam de muita energia e oxigênio.

Nos pulmões, as artérias pulmonares se subdividem numa rede de vasos capilares, até atingir o nível alveolar, onde é feita a troca do **$CO_2$** pelo **$O_2$**, obtendo-se o **sangue arterial** que é coletado pelas **veias pulmonares** e levado ao **átrio esquerdo** do coração. Com a contração do átrio esquerdo o sangue arterial passa para o **ventrículo esquerdo** e, com a contração deste, o sangue é impulsionado para a artéria **aorta** e é levado para todo o corpo humano.

As contrações dos ventrículos direito e esquerdo, ocorrem simultaneamente, formando uma **sístole**. As fibras musculares das paredes dos ventrículos são muito fortes porque é com a contração destas que o sangue, com alta pressão, é forçado a:

- passar pelos vasos capilares do pulmão, via artéria pulmonar, o que produz uma grande queda na pressão;
- circular, via artéria Aorta, por todo o corpo, isto é, para a grande e pequena circulação, até fazer o sangue chegar as células.

Portanto, para atender às duas situações supracitadas, as fibras musculares que revestem as paredes dos ventrículos do coração são muito fortes, trabalham o tempo todo, tendo, consequentemente, um alto consumo energético.

Assim, considerando a função vital do órgão, são os músculos das paredes dos ventrículos do coração os mais solicitados em esforço e desgaste físico. Observe-se que para um bombeamento médio de 70 a 80 pulsações por minuto e uma vida média do ser humano de 65 anos, ao longo deste tempo, os músculos do coração terão trabalhado ininterruptamente por $2{,}4.10^9$ vezes.

Tendo em vista sua importância, estes músculos são os mais irrigados do corpo humano. Esta irrigação é fornecida por um conjunto de artérias específicas (figura 2.9.3), que suprem os músculos com uma grande oxigenação e uma boa dosagem de nutrientes.

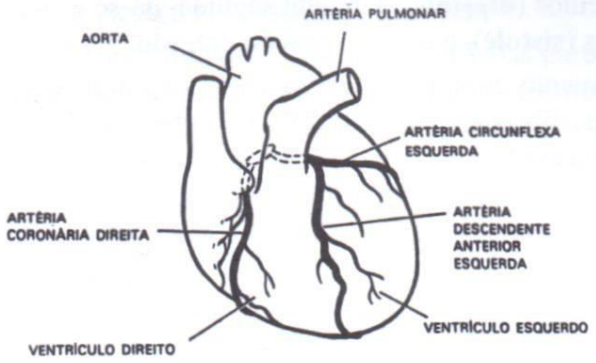



Figura 2.9.3 – Irrigação das paredes do coração

É nos músculos do ventrículo onde ocorrem sérios problemas, tais como:

- ☹ entupimento das artérias (coronárias) que suprem as fibras musculares, provocando o enfarte;
- ☹ a fibrilação ventricular decorrente da passagem da corrente elétrica do choque, assunto esse que será abordado em detalhes no Capítulo III.

Convém observar, considerando o coração dividido em duas partes, "lados", que:

- ☞ no lado direito, formado pelos átrio e ventrículo direito, circula somente o sangue venoso;
- ☞ no lado esquerdo, formado pelos átrio e ventrículo esquerdo, circula somente o sangue arterial.

## 2.10 Fibras Musculares do Coração

As paredes dos átrios e dos ventrículos são formadas por fibras musculares, dispostas longitudinalmente ao coração.

As fibras dispostas uma ao lado da outra, formam compactamente uma verdadeira cerca, que são as paredes do coração.

Estas fibras musculares são fortes e compridas, suas contrações produzem o batimento cardíaco. Primeiro, as fibras ventriculares relaxam e todas as fibras musculares dos átrios se contraem forçando o sangue a ir para os ventrículos (**diástole**), logo em seguida, dá-se a contração das fibras dos ventrículos (**sístole**), e o sangue sai do coração.

O batimento completo e adequado do coração depende da força e tonicidade das fibras musculares. Devido ao esforço físico, as fibras musculares necessitam, para manter as suas atividades, de grande quantidade de nutrientes e $\mathbf{O_2}$. Para isso, há artérias especializadas no coração para atender estas necessidades. Ver figura 2.9.3.

## 2.11 Funcionamento Elétrico do Coração

Até o presente momento foi abordado apenas o funcionamento mecânico do coração. Na presente seção será mostrado o funcionamento elétrico, ou seja, o mecanismo de comando e controle do batimento cardíaco.

O funcionamento mecânico do coração é controlado e comandado eletricamente, por dois geradores eletroquímicos:

- o Nódulo Sino Atrial (**NSA**) também conhecido por Nódulo de Keith-Flack;
- o Nódulo Átrio Ventricular (**NAV**).

Estes dois pontos (1) e (3) na figura 2.9.2, de dimensões comparáveis, estão situados na cavidade do átrio direito, o **NSA** na parte superior e o outro **NAV** na parte inferior. Próximo e abaixo do **NAV** está o **Feixe de His**. Conectado ao **Feixe de His**, parte uma rede de terminações elétricas que se ligam a cada fibra muscular (5) das paredes dos ventrículos.

Essa é a **Rede de Purkinje** (4).

O **NSA** é um gerador elétrico que, bioquimicamente, processa os íons $Na^+$ e $K^+$, alternando-os e emitindo o pulso elétrico. Ver figura 2.11.1.

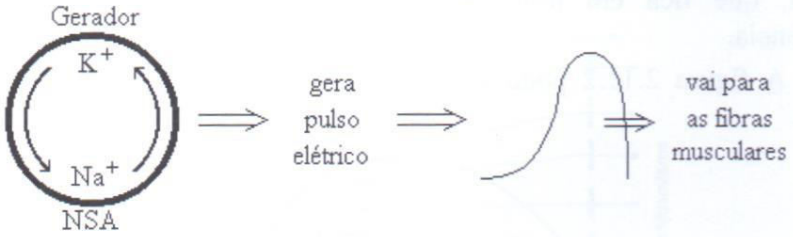



Figura 2.11.1 – Gerador elétrico **NSA**

Esse pulso elétrico (figura 2.11.2) ao passar pelas paredes dos átrios, produz por efeito de um pequeníssimo choque elétrico, contrações simultâneas em todas as fibras musculares, impulsionando o sangue para os ventrículos direito e esquerdo (diástole).

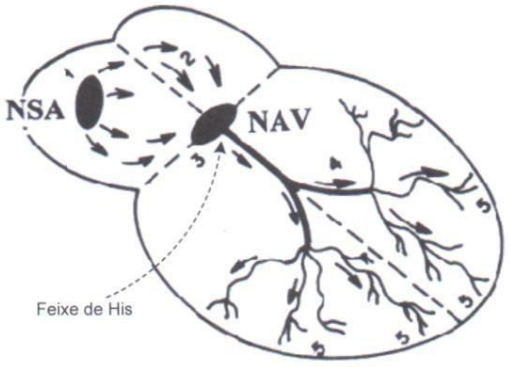



Figura 2.11.2 – Transmissão do sinal elétrico pelas paredes do coração

Na seqüência, o sinal elétrico é captado pelo **feixe de His** e distribuído pela **rede de Purkinje** (4) a todas as fibras musculares (5) que compõem as paredes dos ventrículos do coração. Ao receberem o sinal sincronizado do **NSA**, as fibras musculares se contraem promovendo a contração dos ventrículos (**sístole**). O sinal do **NSA** apenas excita as fibras musculares, que se contraem com força, promovendo a contração propriamente dita do ventrículo.

Convém salientar que o **NSA** é um "gerador elétrico" que emite os pulsos elétricos necessários para promover o batimento cardíaco, enquanto

que o **NAV** é um gerador reserva, que acompanha os sinais do **NSA** sem gerar pulso elétrico. O **NAV** assume efetivamente a função do **NSA** se, por algum motivo, este deixar de funcionar. Portanto o **NVA** é um gerador reserva, que fica em prontidão para entrar em serviço em caso de emergência.

A figura 2.11.2 pode simbolicamente ser representada pela figura 2.11.3.

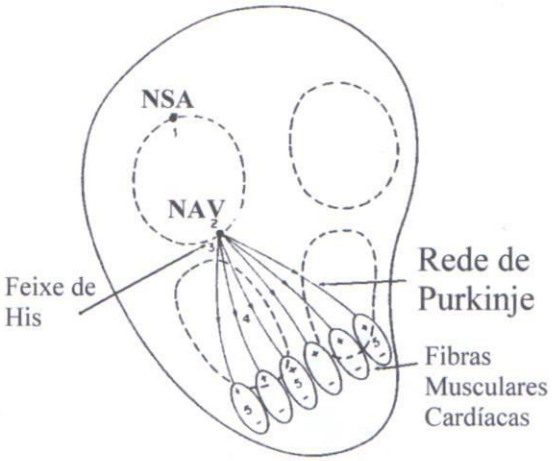



Figura 2.11.3 – Esquema elétrico do coração

Na figura 2.11.3 as fibras musculares que formam as paredes (**miocárdio**) dos ventrículos estão todas polarizadas. Este detalhe será esclarecido no item 2.18.

Tem-se, observado clinicamente, que a região cardíaca mais suscetível a problemas, é a região dos ventrículos e que, devido ao choque elétrico, a fibrilação acontece também mais nos ventrículos do que nos átrios. Por este motivo, nesse livro, o comportamento do coração será analisado da região do **feixe de HIS** para baixo, ou seja, só a região dos ventrículos.

Considerando a região do **feixe de HIS** para baixo, o processo se comporta de acordo com o circuito elétrico análogo da figura 2.11.4.

No circuito apresentado, o **NSA** e o **NAV** estão em paralelo e funcionam identicamente a dois geradores síncronos. O **NSA** opera impondo o sinal elétrico na barra (**feixe de HIS**), isto é, trabalha ativamente.

O gerador **NAV** se mantém em sincronismo com o **NSA**, porém a vazio, sem carga. Ele permanece em flutuação com o sinal de tensão elétrica da barra e só entrará em operação efetiva, se ocorrer algum problema com o **NSA**.

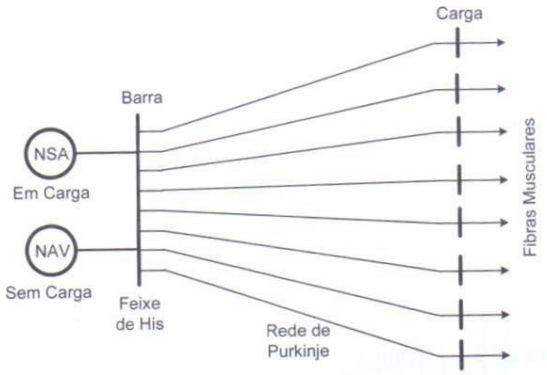



Figura 2.11.4 – Análogo elétrico

Nesse circuito análogo, as linhas de transmissões são a **rede de Purkinje**, e as barras de cargas representam o consumo de cada fibra muscular dos ventrículos. A **rede de Purkinje** é constituída de modo que todas as fibras musculares recebem o pulso elétrico no mesmo instante, assim é sincronizada a contração. Note-se que, na figura 2.11.3, todas as fibras musculares dos ventrículos estão igualmente polarizadas. Esta polarização é que garante e mantém a sincronização das contrações.

## 2.12 Velocidade de Propagação do Pulso Elétrico

As paredes dos átrios e ventrículos do coração são formadas por tecidos que contêm substâncias e plasmas distintos, deste modo o sinal elétrico percorre o coração com velocidades diferentes. A figura 2.12.2 indica as faixas de velocidade do sinal elétrico nos pontos correspondentes aos indicados na figura 2.12.1.

As mudanças no valor da velocidade não é um dado muito importante, em relação ao choque elétrico, mas apenas caracterizam a complexidade de tecidos que formam as paredes do coração humano.

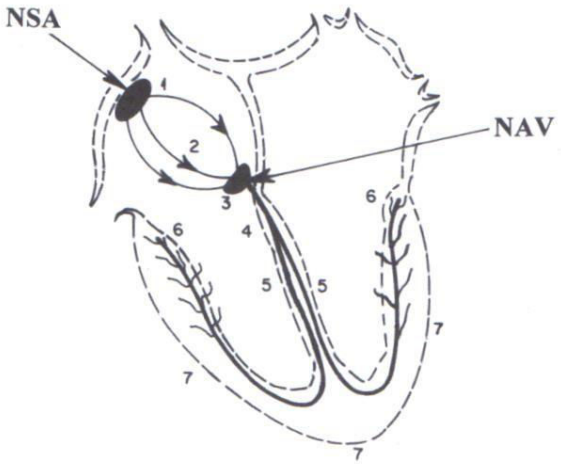



Figura 2.12.1 – Pontos enumerados (sinalizados) no coração

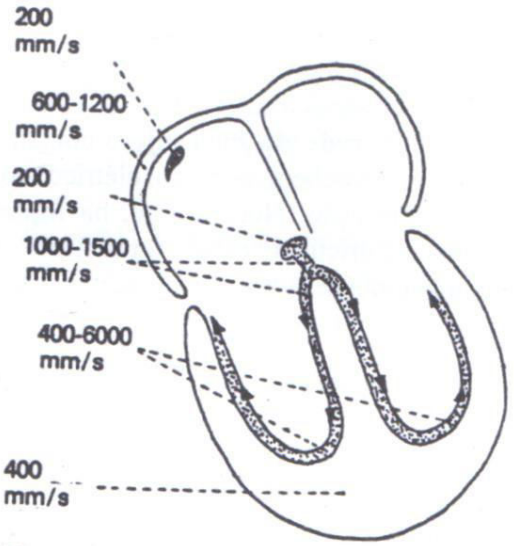



Figura 2.12.2 – Velocidade de propagação do sinal elétrico emitido pelo **NSA** [30]

## 2.13 Forma do Sinal Elétrico pelo Coração

O sinal elétrico emitido pelo **NSA** é mostrado nas figuras 2.11.1 e

2.13.1, e vai mudando de forma ao percorrer as paredes e os vários elementos do sistema elétrico do coração. O sinal muda de forma, devido ao fato de as paredes do coração ser constituídas por tecidos distintos, e que contem plasmas com concentrações diferentes de sais minerais.

A forma do sinal recebido e absorvido pelas fibras musculares dos ventrículos é o último, isto é, o de número 5.

No item 2.18, apresentado com mais detalhe a polarização das fibras musculares dos ventrículos.

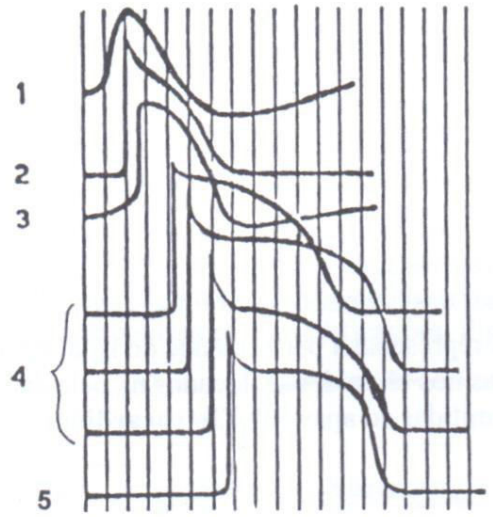



Figura 2.13.1 – Formas do sinal elétrico no coração

## 2.14 Eletrocardiograma (ECG)

O pulso elétrico, proveniente do **NSA,** excita as contrações das fibras musculares que compõem as paredes do coração. As fibras musculares inicialmente estão polarizadas, e durante o recebimento do pulso do NSA as fibras se contraem, nesse processo as tensões elétricas das fibras variam. O efeito do pulso elétrico se irradia e propaga-se por todo o corpo, chegando à flor da pele. Portanto, tem-se em todos os pontos da pele humana, um sinal de tensão que varia de acordo com o regime de contração das fibras musculares do coração.

Se esse pequenito sinal de tensão, na ordem de 1 mV, for captado na superfície da pele e levado a um aparelho eletrônico, que efetua a amplificação do sinal, o resultado é o Eletrocardiograma (**ECG**), figura 2.14.1.

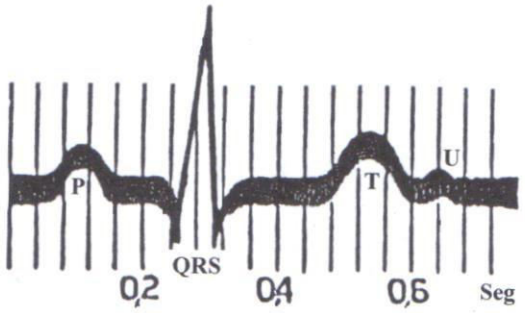



Figura 2.14.1 – Eletrocardiograma (**ECG**) do ciclo cardíaco

O sinal elétrico de tensão apresentado na figura 2.14.1 é consequência da repercussão das cargas elétricas nas paredes internas do coração, decorrentes das contrações das fibras musculares.

O **ECG** representa a performance do sinal de tensão das cargas elétricas captadas nos eletrodos, colocados na pele da região torácica do corpo, e transmitidas ao aparelho **Eletrocardiógrafo**, figura 2.14.2.

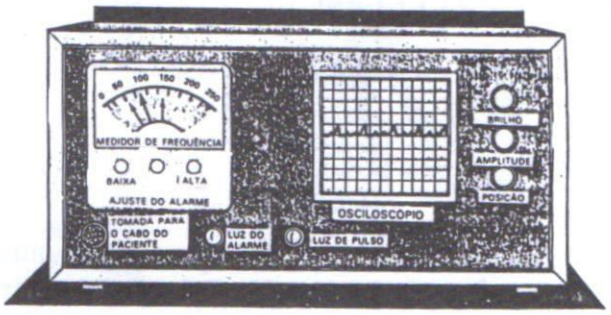



Figura 2.14.2 – Eletrocardiógrafo

O **Eletrocardiógrafo** é um aparelho que através de seus circuitos eletrônicos, amplifica várias vezes o sinal elétrico de tensão captado pelos eletrodos na pele. O sinal obtido eletronicamente no aparelho é uma réplica do sinal da tensão elétrica das fases do processo do batimento cardíaco, que

é transmitido a pele, e pode ser apresentado de três maneiras diferentes:

- ponteiro, que acompanha o pulsos do batimento do coração;
- tela de monitor (osciloscópio), mostrando as ondas de tensão do ciclo cardíaco;
- impresso em papel tipo ***Charter***, ficando registrado para posterior análise.

Os eletrodos usados são bons condutores elétricos, feitos de latão ou cobre, e diâmetro aproximado de 1cm.

Como o sinal de tensão elétrico captado na pele é muito pequeno, qualquer problema de contato no eletrodo distorce, inclina ou aumenta o sinal do **Eletrocardiograma**. Deste modo, o registro fica um pouco alterado. Isto não chega a ser um problema porque o médico experiente, já acostumado, sabe distinguir as distorções provenientes do mau contato.

Para garantir um bom contato, antes de ser colocado o eletrodo, a região onde ele vai ser aplicado deve ser limpa com álcool para retirar o suor e a gordura. Além disso, para melhorar o contato com a pele, é aplicada uma pasta eletrolítica, que é condutora e umidificadora. Figura 2.14.3.

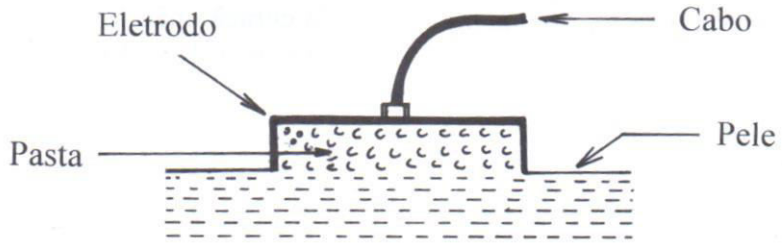



Figura 2.14.3 – Eletrodo de contato na pele

Sem os cuidados acima citados, a resistência de contato pode ficar muito grande e o sinal captado pelos eletrodos, não serão confiáveis.

O **ECG** apresentado na figura 2.14.1 é o de um clico cardíaco de um coração normal. Cada trecho do **ECG** corresponde ao momento de funcionamento de uma determinada região do coração.

Para vasculhar várias regiões do coração de modo a ter-se um diagnóstico mais preciso, os eletrodos podem ser colocados em diversas posições do corpo humano. São geralmente 12 posições, que são conhecidas como derivações. Para exemplificar, são apresentadas na figura 2.14.4 duas

das possíveis formas de colocação dos eletrodos.

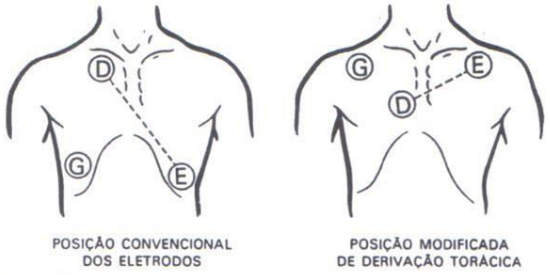



Figura 2.14.4 – Duas posições dos eletrodos no corpo

O número de batimentos cardíacos varia de indivíduo para indivíduo, no entanto, para pessoas normais e sadias, a média mundial está compreendida na faixa de 70 a 80 batidas/minuto e o ciclo cardíaco na faixa de 0,75 a 0,85 segundos.

Os valores médios citados, evidentemente, são alterados de acordo com a solicitação dos esforços físicos, ou seja, em repouso as pulsações diminuem, enquanto que aumentam com o esforço físico.

O **ECG** é uma ferramenta importante no diagnóstico de doenças cardíacas. No entanto, muitos problemas do coração não se manifestam em repouso, mas evidenciam-se no **ECG** com esforço. Esse **ECG** com esforço é feito na bicicleta ou na esteira ergométrica, com o acompanhamento da pressão arterial, sendo todo o processo supervisionado pelo médico especialista na área.

Durante o esforço, para uma pessoa normal:

- a respiração e o batimento cardíaco aumentam;
- o consumo de $O_2$ aumenta até 3 vezes;
- a pressão arterial máxima aumenta quase linearmente com a freqüência cardíaca;
- a pressão arterial mínima mantém-se estável;
- a freqüência cardíaca máxima (**f.c.m.**) é dada pela fórmula (2.14.1) de **Astrand**.

$$\textbf{f.c.m.} = 220 - \text{idade da pessoa} \qquad (2.14.1)$$

O esforço sub-máximo do coração é dado por:

Esforço sub-máximo = 195 – idade da pessoa (2.14.2)

## 2.15 Fases do Ciclo Cardíaco

O ciclo cardíaco mostrado na figura 2.14.1 representa através do eletrocardiógrafo, o sinal elétrico que comanda o coração. Nele é possível perceber claramente três fases distintas e bem definidas:

- onda **P**, que corresponde à fase de contração dos átrios;
- onda do complexo **QRS**, que corresponde à fase de contração dos ventrículos;
- onda **T**, que corresponde à fase onde se processa bioquimicamente a repolarização das fibras musculares dos ventrículos.

Essas 3 fases serão analisadas nos itens a seguir.

## 2.16 Contrações dos Átrios

Os músculos contidos nas paredes dos átrios não são muito fortes, sua função é apenas de fazer o sangue passar para os ventrículos. Portanto, a onda **P**, da figura 2.14.1, corresponde ao período (processo) onde se dá a contração dos dois átrios, conseqüentemente com o sangue venoso indo para o ventrículo direito e o sangue arterial passando para o ventrículo esquerdo.

## 2.17 Contrações dos Ventrículos

Os músculos dos ventrículos são os mais fortes do coração e suas contrações devem ser firmes e fortes, produzindo uma pressão adequada e necessária para impulsionar:

- o sangue venoso, para transpassar os vasos capilares dos pulmões;

- ❖ o sangue arterial, que deve ser transmitido a todas partes (células) do corpo humano.

As contrações dos ventrículos correspondem ao período da onda **QRS**, também conhecido como período **refratário** do ciclo cardíaco. Para a obtenção de uma forte contração, todas as fibras musculares que compõem os ventrículos devem se contrair simultaneamente. Isto se dá devido ao fato das fibras musculares (figura 2.11.3) estarem todas igualmente polarizadas com um potencial inicial de – 90mV.

## 2.18 Repolarização das Fibras Musculares do Ventrículo

Em termos de potencial elétrico, as fibras musculares dos ventrículos passam por vários estágios. Após as contrações dos átrios, isto é, após a onda **P**, elas estão inicialmente polarizadas com um potencial de – 90mV. Quando o sinal elétrico proveniente do **NSA,** as atingem, se contraem violentamente, invertendo a sua polaridade, ficando momentaneamente com + 30 mV, para logo em seguida ficarem despolarizadas, isto é, sem tensão elétrica [30]. Desse instante em diante começa o processo de **repolarização** das fibras musculares dos ventrículos. Esse é o período da **onda T**. Ao final deste período, as fibras musculares estão novamente prontas, isto é, repolarizadas com o potencial de – 90 mV. Todo este processo se repete a cada ciclo cardíaco (figura 2.18.1).

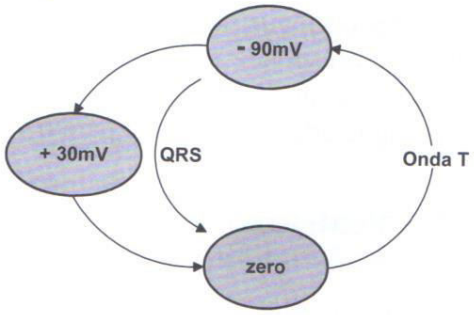



Figura 2.18.1 – Valores das tensões elétricas nas fibras musculares dos ventrículos

A figura 2.18.2, mostra todas as relações do coração, das fibras polarizadas, o sinal do ECG e os valores das tensões das fibras musculares do ventrículo durante o ciclo elétrico.

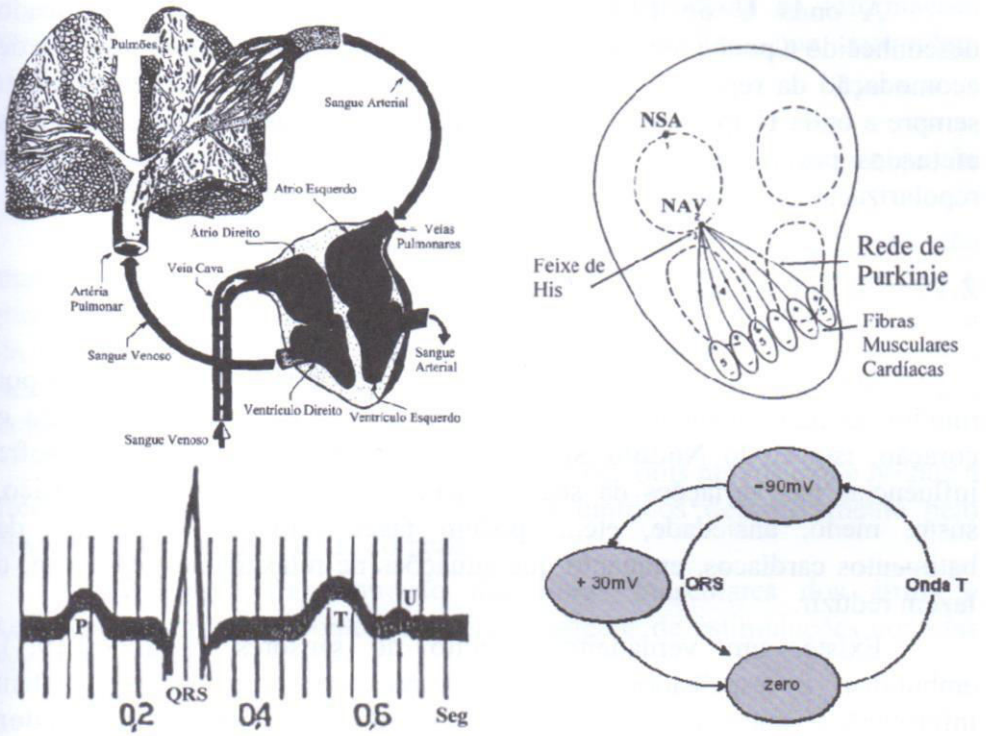



Figura 2.18.2 – Ciclo cardíaco

É o período de repolarização das fibras musculares, conhecido como período vulnerável, que são diagnosticadas várias doenças no coração. É também, o período mais vulnerável a fibrilação ventricular do coração, devido a um choque elétrico externo. O período da **onda T** corresponde a 0,16 segundos ou 1/7 do ciclo cardíaco.

A figura 2.18.3 evidencia os períodos refratário e vulnerável do ciclo cardíaco.

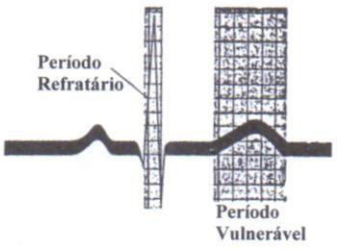



Figura 2.18.3 – Períodos refratário e vulnerável do coração

A onda **U** do **ECG** (figura 2.14.1), até hoje tem significado desconhecido e pouco representativo. Para alguns é apenas um transitório de acomodação da repolarização das fibras musculares dos ventrículos. Nem sempre a onda **U** aparece no Eletrocardiograma. Segundo [35], nos estudos efetuados por Furbetta [70], há indicativos que a onda **U** represente a repolarização dos músculos papilares do miocárdio central dos ventrículos.

## 2.19 Ciclo Cardíaco

Em pessoas normais, em média, o coração bate de 70 a 80 vezes por minuto. O funcionamento do gerador de pulsos elétricos que comanda o coração, isto é, do **Nódulo Sino Atrial (NSA)**, é autônomo, mas sofre influências nas variações da sua frequência. Situações de esforço físico, susto, medo, ansiedade, etc..., podem fazer aumentar o número de batimentos cardíacos, enquanto que situações de relaxamento, descanso, o fazem reduzir.

Existe, um verdadeiro exército de sensores (figura 2.19.1), embutidos e espalhados estrategicamente no corpo, que coletam informações que são enviadas a **Medula do Centro Regulador Cardiovascular,** situadas no cérebro.

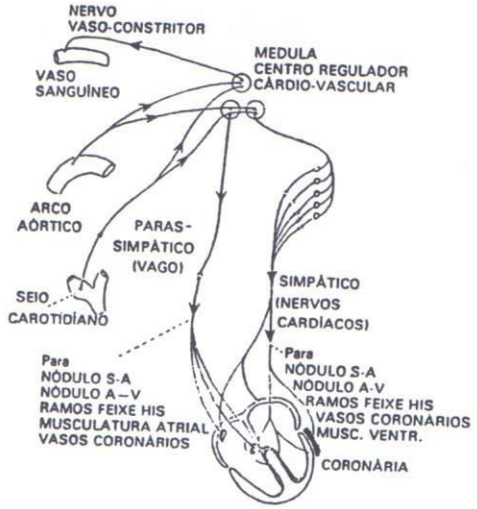



Figura 2.19.1 – Rede de sensores no corpo humano

Esse Centro Regulador Cardiovascular processa as informações recebidas dos sensores e envia sinais reguladores, que estimulam diretamente:

- ✧ o **NSA**, para ajustar o batimento cardíaco;
- ✧ as fibras musculares, para a necessária calibração dos esforços de contrações do coração.

Do Centro Regulador Cardiovascular, os estímulos reguladores são transmitidos pelos **nervos parassimpáticos** (VAGO) e **simpáticos**. A mensagem enviada pelo nervo **simpático** controla o aumento da frequência da emissão do sinal elétrico do **NSA**, enquanto que o sinal trazido pelos **nervos parassimpáticos** controla a diminuição da frequência de sinais emitidos pelo **NSA**.

Portanto, a dosagem das estimulações dos dois nervos é que produz a frequência necessária dos sinais elétricos emitidos definitivamente pelo **NSA**, isto é do batimento do coração.

A potência da contração das fibras musculares dos átrios e ventrículos, também é controlada pelas dosagens de estimulações contidas nos dois nervos.

## 2.20 Pressão Arterial

As contrações dos átrios e dos ventrículos do coração proporcionam, nas paredes internas das artérias, pressões que variam continuamente entre valores mínimos e máximos. A figura 2.20.1, mostra o ciclo cardíaco, juntamente com a variação da pressão arterial do vaso sanguíneo do ser humano.

A pressão arterial, mostrada na figura, é a pressão em mmHg, medida na região do braço de uma pessoa clinicamente normal. Pode-se observar que a contração do ventrículo esquerdo do coração é capaz de produzir uma pressão arterial máxima equivalente a uma coluna de mercúrio de 125 mmHg (ou 12,5 cmHg), enquanto que na sua relaxação a pressão mínima é de 80 mmHg (ou 8 cmHg). Evidentemente, estes valores podem variar de pessoa para pessoa, mas esta é a faixa representativa da média mundial.

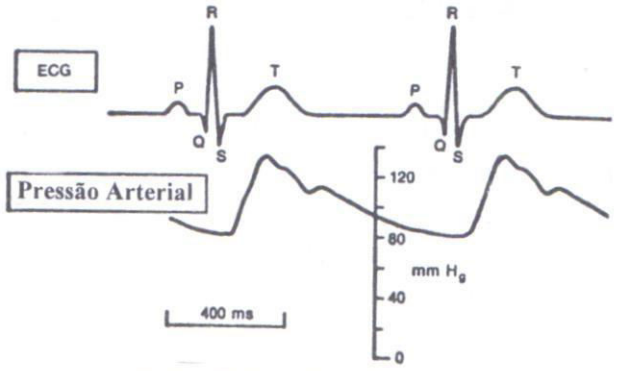



Figura 2.20.1 – Pressão arterial

Outra observação interessante a ser feita a respeito do comportamento da pressão arterial é relativa ao retardo que ocorre entre a contração do ventrículo esquerdo (onda **QRS**) e a pressão máxima medida. Isso acontece, devido ao tempo que a onda de pressão leva para percorrer a distância do coração até o ponto onde a pressão é medida. No caso do exemplo, o braço. O esfigmomanômetro é o aparelho tradicional que mede a pressão arterial do sangue.

## 2.21 Considerações Finais

Até o presente momento, procurou-se apenas apresentar o funcionamento normal do coração humano. Os assuntos abordados nesse capítulo são de suma importância para a real compreensão do fenômeno da fibrilação ventricular do coração devido ao choque elétrico, que será fundamentado no próximo capítulo.

# Capítulo III

# Fibrilação Ventricular do Coração Devido ao Choque Elétrico

## 3.1 Introdução

Esse capítulo será dedicado ao fenômeno da fibrilação ventricular do coração devido ao choque elétrico. O seu conhecimento é importante para todas as pessoas e técnicos que trabalham com eletricidade.

Muito se tem pesquisado sobre os efeitos do choque elétrico no corpo humano, mas é, sem dúvida, o da fibrilação ventricular o mais importante.

É praticamente impossível enumerar as vítimas fatais de fibrilação ventricular do coração produzida pelo choque elétrico.

A apresentação desse capítulo tem como objetivo, a conscientização da população e dos técnicos que trabalham com a eletricidade, para a gravidade deste fenômeno, que pode ser fatal, bem como para uma tomada de posição, sobre o fato de que, somente a prevenção é o caminho para evitá-lo.

## 3.2 Parada Cardíaca

Parada Cardíaca é a total inoperância do funcionamento do coração. Ele está efetivamente parado, o sangue não é mais bombeado, a pressão arterial cai a zero e a pessoa perde os sentidos. Nesse estado as fibras musculares estão inativas, cessando o batimento cardíaco.

Entre outras causas, a parada cardíaca pode ocorrer, pelo choque elétrico de grande intensidade em corrente contínua ou alternada, que produz a tetanização das fibras musculares do coração e, conseqüentemente, a parada do coração. A tetanização é uma espécie de câimbra nos músculos do coração.

## 3.3 Fibrilação Ventricular do Coração Humano

A fibrilação ventricular do coração é um fenômeno diferente da parada cardíaca, mas com consequências idênticas. Na fibrilação ventricular do coração, as fibras musculares dos ventrículos ficam tremulando desordenadamente, tendo como consequência, uma total ineficiência no bombeamento do sangue, a pressão arterial cai à zero, e concomitantemente, dá-se a parada respiratória, e a vítima desfalece. A vítima desfalecida, não tem batimento cardíaco e nem respiração, esse estado é conhecido como morte aparente.

A figura 3.3.1 apresenta o sinal no eletrocardiograma (**ECG**) do coração em fibrilação ventricular e da pressão arterial.

A fibrilação ventricular é um tipo grave de patologia cardíaca, que se manifesta com arritmias cardíacas com amplitudes e frequências indefinidas.

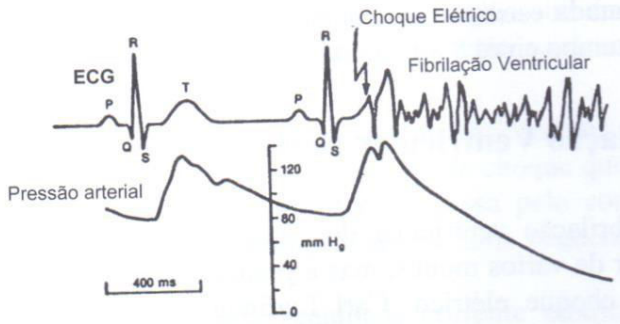



Figura 3.3.1 – ECG e pressão arterial do coração em fibrilação ventricular

No eletrocardiograma, a fibrilação ventricular fica caracterizada pelo sinal rápido e caótico, numa frequência variável na faixa de 170 a 300 por minuto. Ao mesmo tempo, a pressão arterial cai à zero, indicando que a irrigação do sangue no corpo está parada, e também, em consequência, ocorre à parada respiratória. Com essas características, a vítima fica em estado de morte aparente.

Visualmente, numa cirurgia, com o tórax da vítima aberto, quando o coração está em fibrilação ventricular, observa-se que as paredes dos ventrículos tremulam desordenadamente.

Como o sangue não mais circula, todas as células do corpo humano deixam de receber nutrientes e oxigênio. E são as células cerebrais, as primeiras a sofrerem danos. As células cerebrais são muito sensíveis à falta de oxigênio e glicose, e tem baixa capacidade de realizar metabolismo anaeróbico.

Em condição normal, para suprir sua necessidade de elevado consumo energético, o cérebro recebe de 15 a 20% do débito cardíaco. Isso é conseguido com uma adequada capacidade de irrigação de oxigênio e de nutrientes para as células cerebrais. No caso de uma parada na irrigação sanguínea, o cérebro para a atividade neuronal.

Com a vítima em estado de morte aparente, se providências imediatas não forem tomadas, dentro de 4 (quatro) minutos começam os danos cerebrais, já no estado de irreversibilidade.

No estado de fibrilação ventricular, como as fibras musculares que compõem as paredes dos ventrículos do coração não mais recebem nutrientes e oxigênio, elas se exaurem completamente, passando para o

estado de parada cardíaca, isto é, da morte definitiva. Este processo ocorre na faixa de tempo entre 8 a 12 minutos.

## 3.4 Fibrilação Ventricular Devido ao Choque Elétrico

A fibrilação ventricular do coração, como relatado no item 3.12, pode ocorrer de vários modos, mas a preocupação aqui é a relacionada com o risco do choque elétrico. Carl Ludiwig (1816-1895) foi em 1850, o primeiro a relatar que a fibrilação ventricular do coração foi causada por influência da eletricidade.

Desde que surgiram as primeiras redes elétricas, o choque elétrico tem vitimado pessoas. Dessas, a grande incidência de morte é devido à fibrilação ventricular do coração. Portanto, já há muito tempo, tem-se conhecimento de que o choque elétrico causa fibrilação ventricular. Desde esse tempo, procura-se incessantemente entender o modo como a corrente elétrica do choque age no coração, provocando a fibrilação ventricular. Com a evolução da tecnologia e do conhecimento do funcionamento do organismo humano, principalmente do coração, várias explicações foram surgindo. Pensava-se, há pouco tempo atrás, que a corrente elétrica do choque, ao passar pelo coração, mais propriamente pelo **NSA**, desregulava seu funcionamento. Assim, o **NSA** passava a emitir um sinal rápido e caótico para as fibras musculares dos ventrículos. Essas fibras, absorvendo e tentando acompanhar o sinal do **NSA**, contraíam-se de maneira irregular, tendo como resultado vibrações distorcidas e diferenciadas em vários locais das paredes dos ventrículos. Desse modo o sangue não é mais bombeado, e as artérias e veias ficam com pressão zero. Deste modo, o coração fica em **fibrilação ventricular**, deixando a vítima em estado de **Morte Aparente**.

Verificou-se posteriormente que, em pessoas saudáveis, isto é com o coração bom, os responsáveis pela fibrilação ventricular devido ao choque elétrico não são os **NSA** e **NAV**. Isto porque, recentemente, em testes práticos efetuados com o coração em fibrilação ventricular, constatou-se que o **NSA** continua operando normalmente. Ou seja, as fibras musculares que compõem as paredes dos ventrículos estão em estado de fibrilação, mas o **NSA** continua emitindo normalmente os sinais reguladores dos pulsos elétricos.

Esta comprovação tirou definitivamente a responsabilidade da causa da fibrilação ventricular do **NSA** devido ao choque elétrico. Isto se justifica pelos seguintes motivos:

- Os **NSA** e **NAV** são muito pequenos. Assim, devido ao espraiamento (figura 1.4.1), da corrente de choque que passa pelo tórax, somente uma pequena parcela passa pelo coração. E da corrente que passa pelo coração, apenas uma pequena densidade passa pelos nódulos.
- Mesmo que ocorra uma acentuada corrente elétrica passando pelos nódulos, há uma rápida recuperação do seu funcionamento.

Assim, verificou-se que estando o coração em fibrilação ventricular, o Nódulo Sino Atrial (**NSA**) continua funcionando normalmente, isto é, emitindo o sinal normal correspondente à contração das fibras musculares, mas estas não o obedecem, devido ao estado de despolarização em que as fibras se encontram.

O perfeito entendimento e conhecimento do complexo que rege a condução do pulso elétrico, bem como os retardos de tempo e a absorção e contração das fibras musculares, *ainda não é inteiramente* compreendido. O mesmo ocorre com o da fibrilação ventricular devido ao choque elétrico.

Atualmente, cogitam-se *três teorias* principais para explicar a fibrilação ventricular decorrente do choque elétrico. Essas teorias são:

1) Teoria da vibração distinta das camadas estratificadas das paredes dos ventrículos;
2) Teoria do despertar simultâneo dos marca-passos ectópicos naturais do coração;
3) Teoria da reentrada das fibras musculares dos ventrículos.

Estas teorias são apresentadas nos subitens a seguir.

### 3.4.1 Teoria da Vibração Distinta das Camadas Estratificadas das Paredes dos Ventrículos

A explicação na qual se fundamenta esta teoria [82] é que o coração

humano é muito complexo, tendo suas paredes formadas por diversos tecidos diferentes, superpostos estratificadamente. Ver figura 3.4.1.

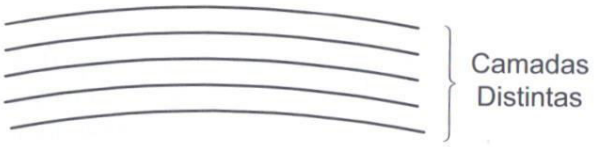



Figura 3.4.1 – Heterogeneidade das camadas estratificadas das paredes do coração

Essa heterogeneidade dos tecidos das paredes do coração confere a cada camada, com espessuras diferentes, uma frequência natural de ressonância mecânica.

Quando a corrente elétrica alternada de 50Hz ou 60Hz do choque passa pelo coração, as camadas dos tecidos das paredes dos ventrículos, reagem vibrando mecanicamente de maneiras distintas. Essas vibrações mecânicas diferentes (distintas) prejudica o processamento bioquímico da onda **T** e a repolarização das fibras musculares dos ventrículos não ocorre a contento. Ainda, aliado a este fato, a corrente elétrica do choque que passa pelo coração está superposta ao sinal emitido pelo **NSA**, provocando um batimento cardíaco distorcido. Com o decorrer de tempo de choque, o coração vai se enfraquecendo. Assim, a vibração mecânica nas camadas da parede do coração, impostas pela corrente de choque de 50 ou 60Hz, produzem, definitivamente, uma polarização caótica nas fibras musculares dos ventrículos, e tem-se a fibrilação ventricular. Ver figura 3.4.2.

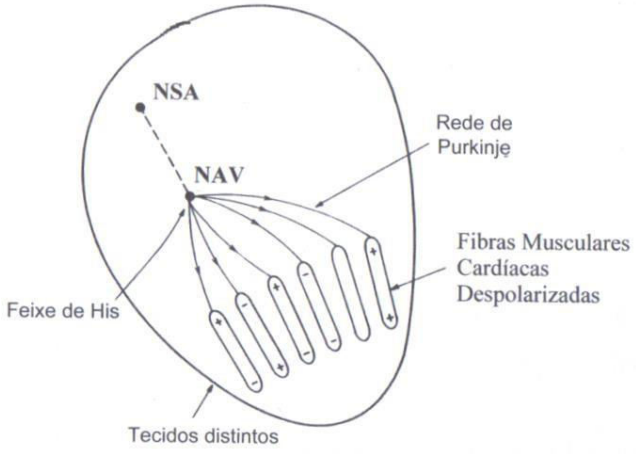



Figura 3.4.2 – Fibras musculares polarizadas caoticamente no ventrículo

Esse estado caótico de polarização das fibras musculares com perda total do sincronismo das contrações comandadas pelo **NSA** é irreversível. As fibras na tentativa de obedecer ao sinal do pulso do **NSA** ficam tremulando desreguladamente, sem produzir um bombeamento efetivo no sangue.

Assim, são as vibrações distintas nas fibras musculares dos ventrículos as responsáveis pelo estabelecimento da fibrilação ventricular do coração devido ao choque elétrico.

Os mamíferos e animais superiores que sofrem o efeito da fibrilação ventricular devido ao choque elétrico, tem heterogeneidade nos tecidos da parede do coração.

O coração da cobra é formado de um só tecido, e não entra em fibrilação devido ao choque elétrico. Isto se deve ao fato de que todas as fibras musculares do coração da cobra vibram juntas e, cessada a corrente elétrica do choque, todas estão em um mesmo ponto de tensão elétrica, isto é, com o mesmo grau (nível) de polarização.

A fibrilação ventricular do coração no homem não é reversível espontaneamente, só é possível a reversibilidade com o uso do desfibrilador elétrico. Mas um fato interessante a se registrar é a performance do coração da tartaruga [64]. Suas paredes do coração são formadas por várias camadas de tecidos diferentes e sob choque elétrico, o coração entra em fibrilação ventricular. Mas, passado, o período de 2,5 minutos há uma reversão espontânea, isto é, o coração da tartaruga volta a bater normalmente. Ver figura 3.4.3.

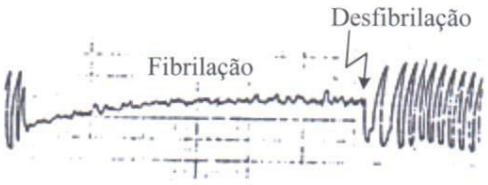



Figura 3.4.3 – Reversão espontânea da fibrilação ventricular do coração da tartaruga (*Pseudimys Floridama*)

Em relação ao coração do homem, dentro do ciclo cardíaco, a região da onda **T** (figura 2.18.3) é o período vulnerável em termos de ocorrência da fibrilação ventricular devido ao choque elétrico.

Esse período vulnerável corresponde ao período em que as fibras musculares dos ventrículos estão se repolarizando. É o período mais frágil e de maior risco, pois se um choque elétrico ocorrer neste instante, a probabilidade de suscitar a fibrilação é maior. A figura 3.4.4 mostra a amplitude da corrente elétrica AC de 50 ou 60 Hz e sua respectiva posição no ciclo cardíaco, para a ocorrência da fibrilação ventricular.

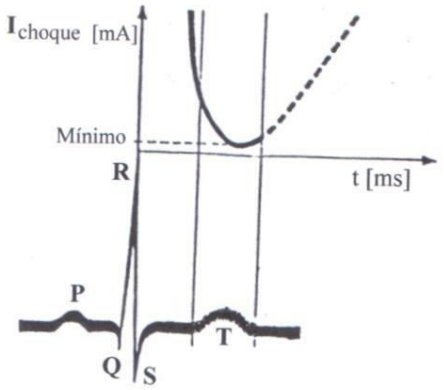



Figura 3.4.4 – Choque elétrico x ciclo cardíaco

Analisando a figura 3.4.4, a menor corrente para causar fibrilação ventricular do coração é a do período **T**. Já fora do período da onda **T**, necessita-se de uma corrente bem maior para causar fibrilação ventricular.

A figura 3.4.5, mostra a corrente em 60Hz do choque elétrico ao longo do ciclo cardíaco.

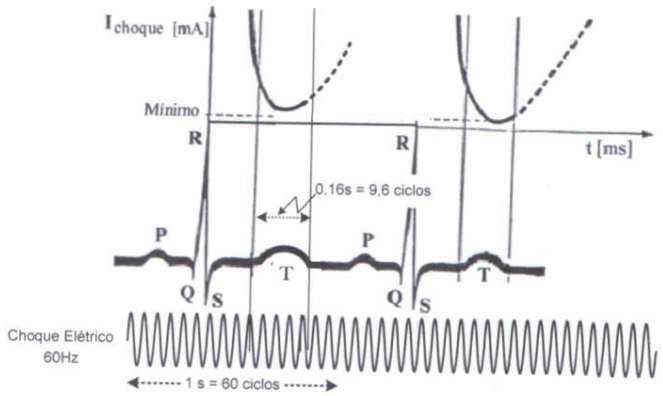



Figura 3.4.5 – Choque elétrico e a onda T

Durante a onda T, que corresponde a 9,6 ciclos da corrente elétrica do choque, o coração é mais frágil e tem maior possibilidade de ocorrer a fibrilação ventricular. Se a fibrilação não ocorrer na passagem da onda T, uma nova tentativa será feita no próximo ciclo cardíaco, e assim sucessivamente. Daí a importância que o tempo de choque elétrico seja o menor possível.

Nos instantes da contração dos ventrículos, isto é, no período da onda **QRS**, (ver figura 2.14.1), é quase impossível fibrilar o coração. Por este motivo, este trecho é conhecido como período **Refratário**. Claro que, se o choque for de grande intensidade, a pessoa morre devido a outros efeitos, tais como a tetanização e a queimaduras intensas dos músculos do corpo e do coração, mas não devido à fibrilação ventricular.

Portanto, para choque elétrico de grande intensidade, os efeitos mais drásticos são as queimaduras, e para correntes pequenas o maior perigo é a fibrilação ventricular do coração.

### 3.4.2 Teoria do Despertar Simultâneo dos Marca-passos Ectópicos Naturais do Coração

A corrente elétrica do choque que passa através do coração se superpõe ao sinal da condução do **NSA**. Isto altera e produz uma pane nos elementos que compõem a condução, principalmente no **feixe de His** e na rede de **Purkinje**. O mesmo ocorre com as fibras musculares dos ventrículos porque suas contrações ficam distorcidas. Pesquisas recentes comprovam ser o **feixe de His,** constituído por um paradoxo de labirintos, incompreensíveis ao propósito da condução elétrica. Talvez seja este labirinto que, fustigado pela corrente elétrica do choque, provoca uma pane, estimulando e despertando os diversos marca-passos ectópicos naturais do coração. Deste modo, os marca-passos ectópicos, querendo cada um assumir, controlar e comandar o batimento cardíaco, produzem em consequência, um estado caótico nas fibras musculares, suscitando um estado anárquico nas polaridades, ou seja, a da fibrilação ventricular.

É baseada na congenitância do despertar simultâneo dos marca-passos ectópicos naturais que se fundamenta esta teoria.

### 3.4.3 Teoria da Reentrada das Fibras Musculares dos Ventrículos

Nessa teoria, a condução normal do pulso elétrico proveniente do **NSA** passa através de dois ramos (caminhos) e encontram-se sobre as fibras musculares dos ventrículos, produzindo a sístole, isto é, a contração dos ventrículos. Ver figura 3.4.6.

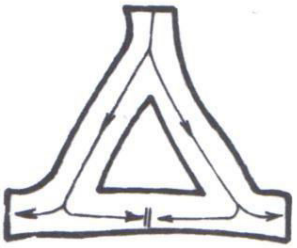


Figura 3.4.6 – Condução normal dos dois ramos

Os impulsos através do caminho bifurcado chegam juntos no mesmo ponto, mantendo e garantindo a sincronização e a cadência da batida do coração.

Quando a pessoa recebe um choque, a corrente elétrica passa diferenciadamente pelos ramos de condução e se superpõem ao pulso elétrico da condução normal do **NSA**. Dentro do laço de condução essa corrente estranha cria e germina diversas fontes, com frequências diferentes. Cada fonte germinada constitui uma nova ignição do pulso de condução, que é denominada de reentrada. Ver figura 3.4.7.

Figura 3.4.7 – Germinação da reentrada no ponto 1

Esses pulsos de reentrada, de várias freqüências, ficam rodopiando dentro do laço e, em superposição com o pulso normal do **NSA**, produzem uma convulsão caótica e anárquica nas contrações das fibras musculares dos

ventrículos.

Esse estado anárquico deixa as fibras polarizadas caoticamente, perdendo a cadência sincronizante.

Por essa teoria, a predisposição das reentradas acontece no período vulnerável, no trecho que vai do início até o ápice da onda **T**. Ver figura 3.4.8.

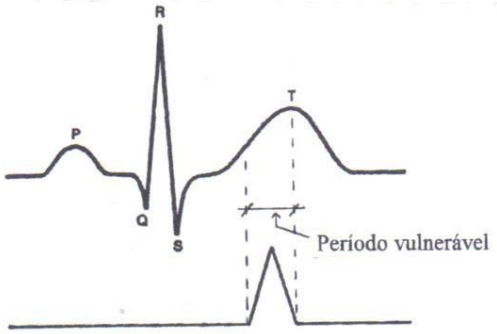



Figura 3.4.8 – Período vulnerável, início até o ápice da onda **T**

## 3.5 Sintomas da Fibrilação Ventricular

Com respeito à eletricidade, quando uma pessoa recebe um choque elétrico, vários efeitos e circunstâncias podem ocorrer. Se a pessoa estiver trabalhando na rede elétrica de baixa tensão e, devido ao choque, ficar desfalecida, deve-se desconfiar que o coração esteja em fibrilação ventricular. Isto porque, sem instrumentos médicos, é praticamente impossível distinguir se a vítima está com parada cardíaca ou em fibrilação ventricular. Ou seja, nesse momento não é possível se auscultar os batimentos do coração e sentir a pulsação, a fibrilação ventricular será visível somente num monitor cardíaco ou equipamento de ECG.

Se a pessoa está desfalecida, não tem pulso e não respira, imediatamente, devem-se iniciar os primeiros socorros como indicado no item 3.13.

Quando a pessoa recebe um choque elétrico, e se o coração entrar em fibrilação ventricular:

- ☹ a pressão cai a zero, não há pulso cardíaco em nenhum ponto do corpo;
- ☹ ocorre a parada respiratória.

Devido a essas ocorrências os sintomas externos básicos são:

- 😐 vítima desfalecida;
- 😐 palidez;
- 😐 não há pulso;
- 😐 não há respiração;
- 😐 dentro de 30 a 40 segundos, a pupila do olho fica dilatada (midríase). Em dois minutos está extremamente dilatada.

Cronologicamente o efeito da fibrilação ventricular, no corpo humano é:

- ✧ 3 segundos ocorre a síncope (desmaio);
- ✧ 10 a 20 segundos, convulsões e espasmos;
- ✧ 40 segundos, apnéia e incontinência.

## 3.6 Desfibrilador Elétrico

Como a fibrilação ventricular é irreversível espontaneamente, faz-se necessário o emprego de técnicas que tornem possível eliminar a fibrilação, de modo a fazer o coração retomar ao seu ritmo normal de funcionamento.

Muitas pesquisas, drogas e testes foram usados, mas o método em que foi obtido sucesso foi o emprego do DESFIBRILADOR ELÉTRICO, que nada mais é do que um capacitor a ser descarregado na vítima, ver figura 3.6.1.

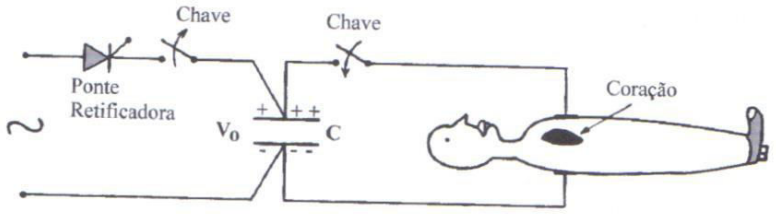



Figura 3.6.1 – Desfibrilador elétrico

Com os eletrodos na posição correta, o médico fecha os contatos promovendo a descarga do capacitor através do coração da vítima.

O funcionamento básico do desfibrilador elétrico é simples. Primeiramente, o capacitor é carregado e logo em seguida sua descarga é feita de modo que a sua corrente unidirecional passe através do coração no sentido do ventrículo para o átrio.

O gráfico da figura 3.6.2 mostra o modo como a corrente elétrica da descarga do desfibrilador varia no corpo humano.

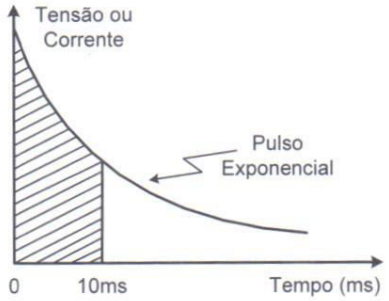



Figura 3.6.2 – Gráfico da corrente de descarga do desfibrilador pelo tórax do corpo humano

A corrente inicial da descarga é intensa, na ordem de Ampères, com decaimento rápido e o tempo efetivo da ação nas paredes do coração é bem pequeno. A área hachurada na figura 3.6.2 é a região correspondente à efetiva atuação da corrente no coração. Essa avalanche de corrente unidirecional, imposta pelo desfibrilador elétrico, obriga as fibras musculares do ventrículo a ficarem sem tensão elétrica. Ver figura 3.6.3.

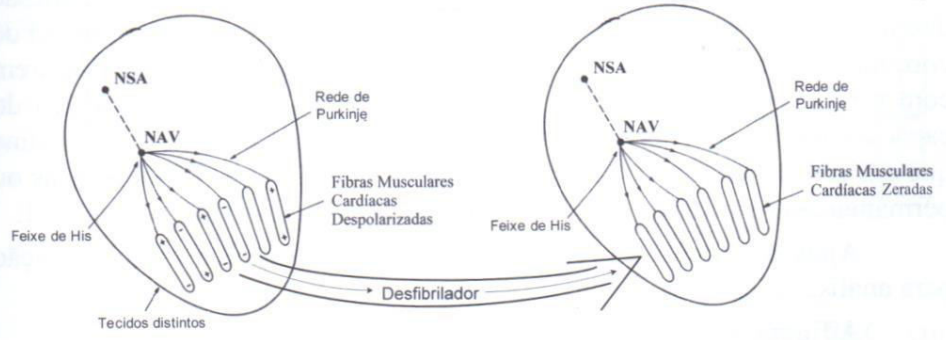



Figura 3.6.3 – Ação do desfibrilador

Deste modo, muitas ou quase todas as fibras musculares dos ventrículos ficam com tensão elétrica zero, assim (agora) todas estão no mesmo estado, isto é, no mesmo nível (patamar) de tensão. Uma vez estando as fibras no mesmo nível de tensão, o processamento bioquímico de repolarização de cada fibra na onda **T** ocorre de maneira sincronizada. Assim, todas as repolarizações ocorrem juntas e o sincronismo de todas as fibras musculares dos ventrículos fica estabelecido. Elas, agora, passam a obedecer ao sinal cadenciado emitido pelo Nódulo Sino Atrial, e o coração restabelece o seu ritmo cardíaco.

Com o uso do Desfibrilador, nem todas as fibras musculares dos ventrículos zeram sua tensão elétrica, mas com o uso de medicações adequadas, as fibras desalinhadas vão se ajustando e integrando-se ao grupo.

Em média, os Desfibriladores comerciais tem o capacitor cuja capacitância varia na faixa de 10μF à 50μF, a tensão armazenada ao nível de 2kV à 9kV, com corrente inicial de descarga através do tórax humano na ordem de 1 a 30A e o tempo de atuação da região hachurada na ordem de 10ms.

Observe-se que a descarga é feita no nível de alta tensão. Esse valor é decrescente e atua no ínfimo tempo de 10ms. O período de tempo de 10ms corresponde à décima parte do tempo de uma piscada do olho humano. Isto é:

$$10\text{ms} = \frac{1}{10}\text{piscada do olho humano}$$

Essa alta tensão aplicada no corpo humano produz uma corrente de descarga decrescente com formato exponencial, que durante o seu *inrush* de corrente elétrica obriga as fibras musculares do ventrículo a se polarizarem com o mesmo potencial (praticamente zero). Esta corrente de descarga do capacitor produz no coração e músculos adjacentes, contração violentíssima que em consequência pode produzir várias irregularidades momentâneas ou permanentes. As possíveis sequelas no coração serão assunto do item 3.11.

Após o uso do desfibrilador elétrico a pessoa fica em observação para analisar o comportamento do coração.

A figura 3.6.4 mostra um típico desfibrilador elétrico.

Figura 3.6.4 – Desfibrilador elétrico

Inicialmente a forma de descarga capacitiva direta foi utilizada nos desfibriladores, mas estudos, pesquisas e experimentos foram efetuados e outras formas de pulsos mostraram serem mais promissoras. Atualmente a forma da onda da tensão aplicada pelo desfibrilador elétrico na região torácica entre os dois eletrodos (pás) são de três tipos:

- Onda senoidalmente fortemente amortecida;
- Onda trapezoidal truncada (cortada);
- Onda bifásica, ou seja, trapezoidal truncada positiva e reversa.

A figura 3.6.5 mostra os três tipos de formas de onda de tensão aplicada pelo desfibrilador elétrico.

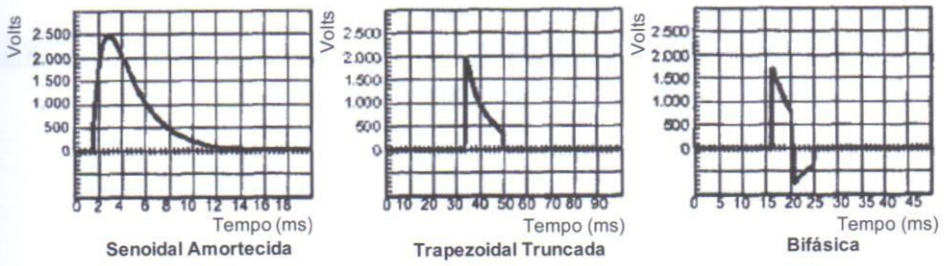



Figura 3.6.5 – Tipos de formas de onda do desfibrilador elétrico

A forma de onda amortecida é obtida de um circuito RLC, cujo controle (ajuste) pode originar o tipo de amortecimento, como, por exemplo, o mostrado na figura 3.6.6.

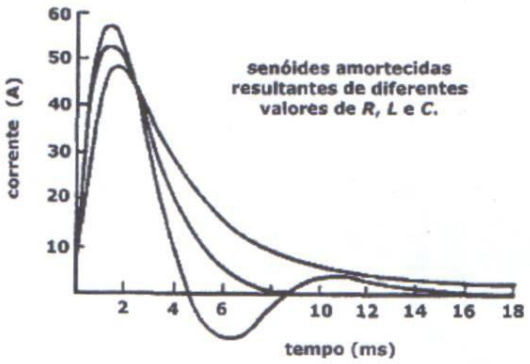



Figura 3.6.6 – Onda senoidal amortecida

A ação efetiva para desfibrilar o coração está no primeiro meio ciclo, sendo o restante prejudicial aos tecidos do coração e dos músculos torácicos. Por esse motivo, foi desenvolvido o desfibrilador de onda exponencial truncada, que é obtida por um circuito eletrônico que produz o corte no primeiro meio ciclo de uma onda senoidal. Ver figura 3.6.7.

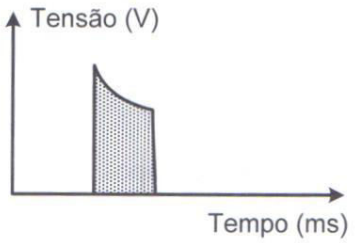



Figura 3.6.7 – Onda truncada

O desfibrilar de onda bifásica (positiva e reversa) é formado por duas ondas truncadas invertidas, como apresentado na figura 3.6.8.

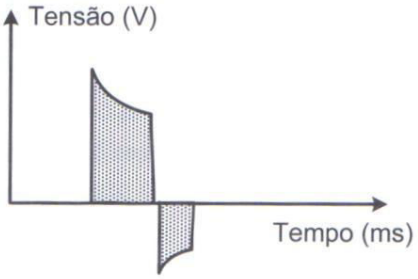



Figura 3.6.8 – Onda bifásica

A onda bifásica produz uma desfibrilação mais eficiente, com menores sequelas, porque as tensões, positiva e negativa, são menores e aplicadas em tempos distintos, nas paredes do coração. Esse equipamento elétrico é mais complexo que os seus antecedentes, utiliza a tecnologia digital, e tem o recurso adicional de adaptar o tempo do pulso aplicado de acordo com a medida da resistência torácica do paciente. Ou seja, antes de aplicar a descarga, o desfibrilador mede a resistência torácica da vítima, e regula automaticamente os tempos dos pulsos positivo e reverso. A figura 3.6.9, mostra o tempo dos pulsos bifásicos aplicados de acordo com a resistência elétrica torácica do paciente.

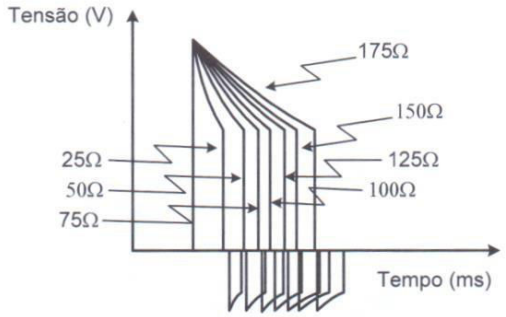



Figura 3.6.9 – Tempo dos pulsos bifásicos de acordo com a resistência torácica

Dos desfibriladores que utilizam as formas de ondas apresentadas na figura 3.6.5, verifica-se uma diminuição da tensão aplicada, consequentemente com menores sequelas.

Além da fibrilação ventricular devido ao choque elétrico, o desfibrilador elétrico é também utilizado nos casos de:

- taquicardias paroxísticas supra e ventricular;
- *flutter* ventricular;
- *flutter* atrial e fibrilação atrial;
- fibrilação ventricular devido a outra natureza;
- após cirurgia que exige parada do coração.

## 3.7 Regulagem no Desfibrilador Elétrico

A regulagem do aparelho é feita pela energia armazenada no

capacitor, que é dada pela expressão 3.7.1:

$$E_{capacitor} = \frac{1}{2} C V_0^2 \qquad (3.7.1)$$

Onde:

$E_{capacitor}$ ⇒ energia do capacitor em Joule [J]

C ⇒ Capacitância do capacitor em Farad [F]

$V_0$ ⇒ tensão inicial no capacitor em Volts [V]

Dependendo do aparelho a escala vai até 500J. O médico escolhe a energia adequada e ajusta o aparelho. O botão de ajuste é mostrado na figura 3.7.1.

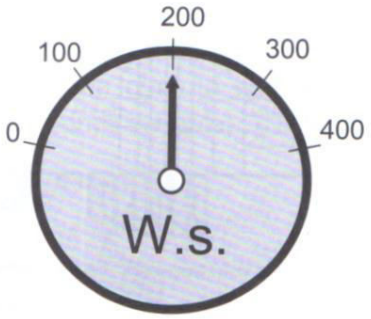



Figura 3.7.1 – *Dial* de ajuste da energia no desfibrilador elétrico

A escala do aparelho é dada em Ws, isto é, Watts x segundos, que corresponde a uma potência impulsionada no tempo de 10ms, esta energia é joule [J].

Para cada posição do ponteiro no dial de ajuste do carregamento do desfibrilador elétrico, o circuito eletrônico interno do aparelho faz o devido ajuste de tensão elétrica que corresponde à respectiva energia elétrica no capacitor.

O tempo de carga no capacitor é de aproximadamente de 10s. Portanto, em 10s, o desfibrilador está pronto para ser usado no paciente. Nos modernos desfibriladores microprocessados com onda bifásicas de disparo o tempo de carga vai de 5s a 7s

## 3.8 Ajuste do Desfibrilador Elétrico

A energia armazenada no capacitor do desfibrilador elétrico é a determinada através de levantamentos práticos e estatísticos efetuados em ensaios, no decorrer da evolução desta técnica. A densidade de corrente elétrica ótima que produz a maior probabilidade de reverter a fibrilação do coração depende intrinsecamente do:

- estado clínico do coração;
- tamanho do coração;
- peso do coração
- resistência torácica entre os dois eletrodos (pás) do desfibrilador.

O tamanho e peso prováveis estimados do coração são levantados através de dados históricos e obtidos através da média dos valores de milhares de cadáveres de diversos países do mundo. Em cada cadáver foi medidos o perímetro do tórax, peso e tamanho do coração. Deste modo, quando a vítima com fibrilação ventricular chega ao hospital, a medida do perímetro do tórax dá os valores estimados do tamanho e peso do coração que, em consequência, indica inicialmente a carga elétrica ideal do desfibrilador elétrico.

O coração do homem tem o tamanho de uma mão fechada (figura 3.8.1) e peso de 280g a 340g, já o da mulher vai de 230g a 280g.

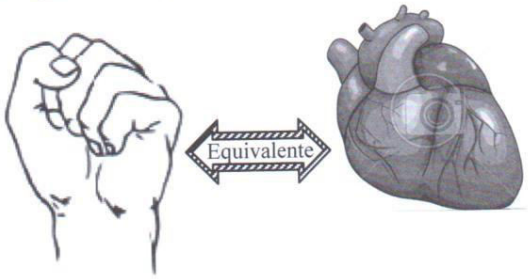



Figura 3.8.1 – Coração humano do tamanho da mão fechada

Como a descarga do desfibrilador é aplicada em dois pontos da pele da região torácica da vítima, como indicam as figuras 3.9.1 e 3.9.2, a

corrente efetiva que passa no coração, sobre influência de outros parâmetros, tais como:

- idade da vítima;
- qualidade da pele;
- peso da vítima;
- tamanho do tórax
- estado de saúde do paciente.

O médico especialista avalia rapidamente o paciente, e dado a sua experiência, ajusta adequadamente o valor da energia inicial do desfibrilador elétrico. A faixa de ajuste do desfibrilador para adultos varia de:

$$150J \leq \text{ajuste do desfibrilador} \leq 500J \qquad (3.8.1)$$

Geralmente, para pessoa com tamanho e peso normal, o ajuste inicial do Desfibrilador é de 150J. Toda a energia do desfibrilador não vai diretamente ao coração, parte se espraia pelos músculos adjacentes. Caso não se tenha sucesso de cardioversão, deve-se aumentar a energia no desfibrilador elétrico. Sabe-se que quanto maior a energia no desfibrilador e quanto mais tentativas de reversão, maiores são os danos ao coração.

Se não houver sucesso com o aumento da energia no desfibrilador elétrico, podem-se usar medicamentos antiarrítmicos. Esses medicamentos tornam a fibrilação mais grossa, e a probabilidade da cardioversão aumenta. Esse é, também, o procedimento usado quando a fibrilação ventricular é rápida e fina.

Se a vítima for uma criança, o valor do carregamento do desfibrilador é bem baixo, podendo ser da ordem de 50J.

*Em caso de cirurgia*, em que o tórax está aberto e o coração exposto, pode-se fazer a desfibrilação diretamente no coração, usando elétrodos especiais tipo colher. Ver figura 3.9.3. O aparelho desfibrilador é o mesmo, usando-se apenas este eletrodo especial, com regulagem de 50 à 100J de energia no capacitor.

Ao se colocar as pás no paciente como mostra a figura 3.9.1, os desfibriladores modernos já medem a resistência elétrica do corpo humano entre os dois eletrodos, e ajustam automaticamente o tempo ótimo de descarga na vítima. Assim, com esses recursos adicionais, o médico pode com mais precisão ajustar o valor da energia no equipamento, com o intuito

de conseguir maior sucesso na cardioversão.

De um modo geral, a eficácia da cardioversão da vítima depende:

- ✓ da rapidez dos primeiros socorros;
- ✓ da eficiência da massagem cardíaca e respiração boca a boca;
- ✓ do estado de saúde da vítima;
- ✓ parâmetros fisiológicos da vítima;
- ✓ do tempo de utilização do Desfibrilador;
- ✓ do bom funcionamento do Desfibrilador;
- ✓ dos danos da descarga elétrica.

## 3.9 Posição dos eletrodos no corpo humano

A posição dos eletrodos (pás) do desfibrilador elétrico no corpo humano pode ser, dependendo do caso, feita de dois modos:

- × externo no corpo, isto é, sobre a pele;
- × interno, diretamente no coração.

Externamente, sobre a pele no tórax da vítima, podem ser usados dois procedimentos, como indicam as figuras 3.9.1 e 3.9.2.

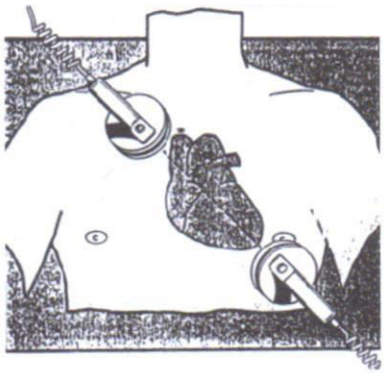


Figura 3.9.1 – Posição (esternal-apical) mais usual dos eletrodos (pás) do desfibrilador

Os eletrodos são contatos metálicos, com seção compatível para ter um contato maior com a pele, com o objetivo de distribuir a corrente, de modo a não causar perfuração na mesma. Os contatos de fechamento do circuito elétrico do desfibrilador estão na própria empunhadura dos eletrodos. Os eletrodos são, geralmente, de cobre ou aço inox, com formato

circular ou retangular, com área de 50cm² à 130cm².

A posição dos eletrodos, mostrado na figura 3.9.1 é o mais utilizado. As pás (eletrodos), em contato com o corpo humano, devem ser posicionadas de modo que a corrente vai do Ventrículo para o Átrio.

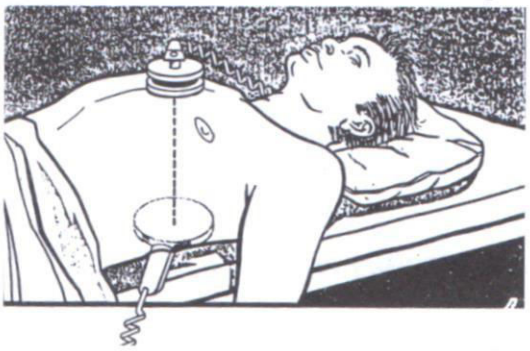


Figura 3.9.2 – Posição (ântero-posterior) dos eletrodos do desfibrilador

Isto é:

- pá negativa ( – ) no lado direito da vítima;
- pá positiva (+) no lado esquerdo da vítima.

Durante a descarga, para produzir melhor contato elétrico e não queimar (danificar) a pele é empregado uma pasta eletrolítica. Esta pasta será assunto do item 3.10.

Já no caso de uma cirurgia com o coração exposto, pode-se utilizar o desfibrilador elétrico diretamente no coração. Neste caso, são usados eletrodos especiais do tipo colher ou concha com diâmetro de 4 a 8cm. Figura 3.9.3.

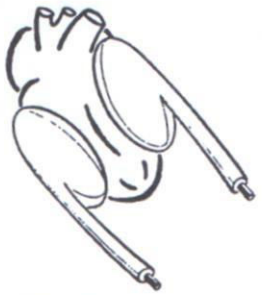


Figura 3.9.3 – Eletrodos tipo "Colher"

Esse tipo de eletrodo diretamente no coração é utilizado nas cirurgias

em que é preciso parar o coração, tais como as de:

- transplante de coração;
- ponte de safena ou mamárias;
- operações internas do coração;
- e outras...

A descarga pode também ser efetuada por aparelhos eletrônicos especiais, implantados no corpo, que monitoram a batida do coração. Caso o coração entre em fibrilação ventricular, o aparelho produz uma descarga automática na tentativa de recuperar o batimento cardíaco. Estes aparelhos, que são pequenos desfibriladores elétricos, são colocados, através de uma cirurgia, sob a pele, sendo que os elétrodos são colocados sob o ventrículo.

Este tipo de aparelho (figura 3.9.4) é utilizado em pacientes portadores de arritmias cardíacas graves, que podem levar à morte súbita, refratária ao tratamento medicamentoso. O aparelho pode detectar e corrigir arritmias, tais como:

- 😐 taquicardias
- 😐 fibrilação ventricular
- 😐 bradicardias

Geralmente a energia desse desfibrilador implantado vai de 0,5J a 30J.

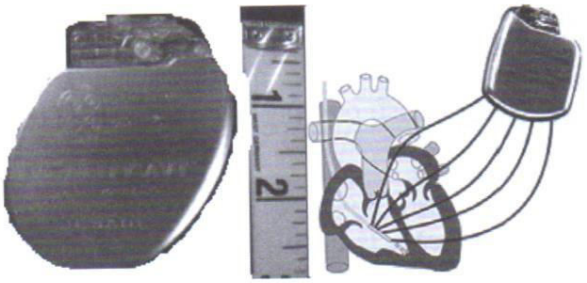


Figura 3.9.4 – Desfibrilador automático implantável

## 3.10 Pasta Eletrolítica

Para atenuar os danos e queimaduras na pele, usa-se entre a pele e o

eletrodo uma pasta (gel) eletrolítica que tem as seguintes características:

- emoliente;
- amaciante
- aderente
- umidificante;
- condutora.

Estas características diminuem a resistência elétrica da pele e produzem boa condição de suportar ao impacto da avalanche de corrente elétrica produzida pelo desfibrilador. A não utilização da pasta prejudica a ação efetiva da descarga elétrica do desfibrilador e a pele ficará seriamente danificada com queimaduras e perfurações.

## 3.11 Danos Pós-Desfibrilatórios

O uso do desfibrilador elétrico sempre produz risco de danos ao coração e aos músculos da região torácica. A ação do desfibrilador elétrico sobre o corpo humano é um processo drástico. A corrente de descarga do capacitor produz vários danos na pele, no tórax e no tecido do coração. De um modo geral, quanto mais tentativas de desfibrilar, maiores são os danos. Os danos também aumentam com o aumento da energia no capacitor.

A ponderação sobre o número de tentativas e o valor da energia do capacitor para desfibrilar o coração deixa o médico num impasse. Isto porque, quanto menor a energia no capacitor menor é a probabilidade do sucesso da cardioversão, mas o aspecto positivo é que os danos são menores.

Não havendo sucesso, novas tentativas serão feitas, aumentando os riscos de sequelas no coração. Já quanto maior a energia no capacitor maior é a probabilidade de sucesso na reversão do coração e maiores são as possibilidades de danos. Resumidamente, os principais danos [83] são:

**a) Danos fisiológicos:**

- ☹ Contrações ventriculares prematuras;
- ☹ Bloqueio A-V;
- ☹ Taquicardia ventricular;

- ☹ Fibrilação atrial;
- ☹ Diminuição da frequência cardíaca (bradicardia);
- ☹ Prolapso na válvula Mitral;
- ☹ Insuficiências cardíacas, acarretando, inclusive o edema pulmonar;
- ☹ Inversão da onda **T**;
- ☹ Embolias.

**b) Danos histológicos:**

- ☹ Macro-dano: muda a cor das paredes do coração de maneira visível;
- ☹ Micro-dano: danos microscópicos percebe-se que muitas fibras musculares perdem a função;
- ☹ Aumento da liberação das enzimas cardíacas no plasma indicando necrose das células do coração;
- ☹ Queimaduras na pele na região do eletrodo;
- ☹ Dores na musculatura torácica.

A pessoa reanimada com desfibrilador elétrico, tem uma vida normal, mas seu coração fica mais vulnerável, isto é, se receber um novo choque elétrico poderá ter a ocorrência da fibrilação atrial e ventricular. Se ocorrer só a fibrilação atrial, os músculos dos ventrículos são suficientemente fortes para suprir em 70% a capacidade de bombeamento do sangue. O médico então, com o diagnóstico da fibrilação atrial, utilizará os procedimentos adequados para a sua eliminação e restauração do batimento cardíaco normal. Sempre, quaisquer danos deverão ser examinados e controlados pelos médicos.

Já no caso da bradicardia, se não houver solução clínica, será necessário à instalação de um marca-passo artificial.

Com respeito aos danos histológicos, percebe-se que algumas células ou fibras perdem suas funções, e o coração funciona de modo precário, as fibras boas tem que assumir a função das danificadas. Isso diminui a vida útil do coração.

Quando após o uso do desfibrilador a pessoa vive alguns dias e morre, na autópsia, no exame das paredes (tecidos) do coração há pequenos

pontos necrosados e enegrecidos, foram queimados pela corrente da descarga do desfibrilador.

## 3.12 Causas da Fibrilação Ventricular

O objetivo principal desse capítulo é de esclarecer com mais propriedade o fenômeno da fibrilação ventricular do coração devido ao choque elétrico. Mas, a título de informação, resumidamente, as causas que podem suscitar a fibrilação ventricular são:

- ☹ choque elétrico;
- ☹ choque mecânico;
- ☹ choque térmico;
- ☹ estrangulamento;
- ☹ afogamento;
- ☹ cirurgia;
- ☹ trauma torácico;
- ☹ cateterismo cardíaco;
- ☹ hipotermia (temperatura < 28ºC)
- ☹ choque químico ($K^+$, $Ca^{++}$, $H^+$, etc...)
- ☹ drogas;
- ☹ origem clínica.

O choque mecânico brusco do corpo humano, sob certas situações, contém várias harmônicas mecânicas que produzem vibrações diferenciadas nas fibras musculares do ventrículo, quebrando o ritmo normal da repolarização suscitando a fibrilação ventricular.

Já variações bruscas de temperatura em regiões distintas do corpo humano, podem sob determinadas condições produzir um choque térmico, quebrando a normalidade da repolarização das fibras, advindo a fibrilação ventricular.

Em relação ao choque químico, as hipo ou hiperconcentrações de íons de $K^+$, $Ca^{++}$, $H^+$ e outros, produzem distúrbios eletrolíticos graves, e podem suscitar a parada cardíaca ou a fibrilação ventricular.

As drogas originadas do próprio tratamento ou do controle do paciente pelos anestésicos podem causar distúrbios nos músculos cardíacos,

por exemplo, pode-se citar:

- ✷ clorofórmio ou ciclopropano (anestésico) associados à adrenalina, produzem asfixia e/ou instabilidade cardíaca, geralmente a fibrilação ventricular ocorre na mesa de cirurgia;
- ✷ digital, quinidina ou procainamida em doses tóxicas.

Outro exemplo é a droga *acetilcolina*, que age no sentido de bloquear (diminuir) a emissão do sinal do Nódulo Sino Atrial, produzindo não uma fibrilação ventricular, mas sim uma parada do coração. Essa droga é usada nos pesticidas na agricultura, onde ocorrem muitos problemas de parada cardíaca em pessoas intoxicadas.

Várias outras situações, de ordem clínica no coração, podem suscitar a fibrilação ventricular, tais como:

- infarto;
- edema pulmonar;
- hiperexcitabilidade vagal;
- bloqueio na condução AV completo;
- bradicardias extremas;
- condições orgânicas precárias, tais como:
  - ♦ câncer;
  - ♦ tóxi-infecções graves;
  - ♦ insuficiência hepática;
  - ♦ insuficiência renal.

Em laboratório, para induzir fibrilação ventricular no coração dos animais, para investigação científica, procede-se do seguinte modo:

- 😐 choques elétricos;
- 😐 ligadura da artéria coronária;
- 😐 irritação mecânica;
- 😐 drogas (cloreto de bário, cloreto de cálcio, digital, adrenalina em altas doses).

## 3.13 Primeiros Socorros Relativos a Fibrilação Ventricular

A fibrilação ventricular sempre ocorre junto com a parada

respiratória. Não há circulação de sangue no corpo, a pressão arterial é zero e a vítima fica desfalecida, esse estado é conhecido como morte aparente.

Muitas vezes em decorrência do desmaio, a própria queda da vítima ocorre de maneira a se soltar (afastar) do contato elétrico. Mas, se a vítima desmaiada continuar em contato com a rede energizada, a primeira providência é eliminar o choque elétrico.

Examinando a vítima e constatando ausência de pulsação e respiração, deve-se primeiramente deitar a pessoa no chão bem firme e duro. Examinar a boca, no sentido de retirar qualquer objeto, como chiclete, bala, etc..., e puxar a língua para a sua posição normal. Esticar a cabeça com o queixo mais empinado para trás e imediatamente proceder continuadamente a respiração artificial e a massagem cardíaca. Em seguida levar a vítima mais rápido possível para o hospital.

No hospital, será então utilizado o desfibrilador elétrico, no sentido de tentar normalizar o batimento cardíaco.

## 3.14 Massagem Cardíaca

O coração é uma bomba hemo-dinâmica pulsativa. Durante a fibrilação ventricular, as paredes dos ventrículos ficam tremulando caoticamente, isto é, desordenadamente, assim, a bomba cardíaca perde totalmente a sua eficiência, não bombeando o sangue. Nessa situação, a vítima inevitavelmente vai morrer.

Para deixar a vítima, ainda que precariamente, com os órgãos vitais preservados, deve-se aplicar qualquer método que force a circulação sangüínea pelo corpo humano. Há vários métodos, mas o mais conhecido pela população é a massagem cardíaca, na verdade o termo correto é compressão torácica.

A massagem cardíaca é um método mecânico onde o operador comprime o osso esterno da vítima que, em conseqüência, comprime o coração. Deste modo, o sangue é forçado a sair do coração.

O procedimento é o seguinte:

1) A massagem cardíaca deve ser aplicada no ponto localizado a 1/3 inferior

do osso esterno, como mostra a figura 3.14.1, que corresponde mais ou menos a posição do alinhamento dos mamilos.

Figura 3.14.1 – Massagem no 1/3 inferior do osso esterno

**2)** As mãos, uma sobre a outra, devem ser posicionadas no local indicado anteriormente. Ver figura 3.14.2.

Figura 3.14.2 – Posições das mãos

**3)** Com os braços esticados e com o peso do corpo, o operador produz um impulso abaixando o osso externo (mais ou menos 5cm) da vítima e comprimindo o coração. Desta maneira, o sangue é obrigado a sair do coração, produzindo uma onda de pressão que percorre as artérias. Note que o movimento do sangue é unidirecional, esta garantia é feita pelas válvulas Mitral e Tricúspide.

**4)** Quando o operador termina o impulso e levanta as mãos, a própria estrutura óssea da caixa torácica retorna à sua posição normal, descomprimindo o coração; que fica novamente cheio de sangue.

Repetindo-se em sequência os dois itens anteriores, obtém-se uma irrigação sanguínea pelo corpo da vítima.

A massagem cardíaca, com o procedimento acima indicado, não é um método 100% eficiente, mas mantém por certo tempo os órgãos vitais da vítima preservados. A operação acima descrita pode ser motorizada, isto é, coloca-se ao redor do tórax da vítima uma armação especial. A armação contém um motor elétrico provido de um pistão. O motor é ligado ao circuito elétrico da ambulância e o pistão efetua mecanicamente e continuadamente a massagem cardíaca na vítima.

Cuidado especial deve-se ter na massagem cardíaca, porque os movimentos mecânicos efetuados por uma pessoa sem treinamento especifico, podem produzir os seguintes problemas [30]:

- ☹ laceração do fígado;
- ☹ fratura das costelas;
- ☹ lesão no pulmão;
- ☹ hemorragia abdominal;
- ☹ hemotórax;
- ☹ embolia pulmonar;
- ☹ hemopericárdio;
- ☹ lesões no miocárdio.

Atualmente, está se desenvolvendo outros procedimentos mais complicados de massagem cardíaca, porém mais eficientes, produzindo menos danos e sequelas na vítima. Essas compressões torácicas especiais são feitas pelos profissionais habilitados da área da saúde.

## 3.15 Respiração Artificial

Quando a vítima não está respirando, devem-se empregar procedimentos mecânicos similares ao da respiração normal.

A respiração (ventilação) artificial pode ser feita utilizando-se os seguintes processos:

- boca a boca;
- compressão manual de um balão (Ambú);
- tubo com oxigênio puro.

A respiração artificial mais conhecida popularmente é a boca a boca. Ela consiste no processo em que o operador insufla ar nos pulmões da vítima. Figura 3.15.1.

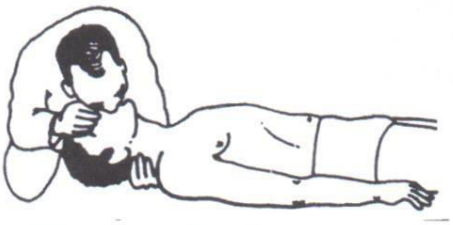


Figura 3.15.1 – Respiração boca a boca

O procedimento normalmente é:

**1º Passo:** o operador com uma mão fecha as narinas da vítima.

**2º Passo:** o operador coloca a sua boca na boca da vítima e efetua, inicialmente, duas insuflações rápidas e profundas de ar dentro dos pulmões da vítima.

**3º Passo:** efetuar duas insuflações a cada 30 compressões torácicas, e assim sucessivamente.

Para evitar o risco de contaminação, os profissionais de serviço de emergência, tais como bombeiros, enfermeiros, paramédicos, médicos, utilizam uma prótese de silicone que se adapta na boca da vítima e do profissional de modo a não haver contato direto entre eles. Assim, a respiração dita de boca a boca pode ser efetuada com mais segurança.

O ar atmosférico, nas condições normais de temperatura e pressão é constituído basicamente de:

- ☺ 21% de oxigênio;
- ☺ 78% de nitrogênio;
- ☺ 0,93% de Argônio;
- ☺ 0,07% de outros gases.

Na respiração (inspiração) normal, somente uma pequena parcela do oxigênio passa para a corrente sangüínea. Na expiração, o ar retorna:

- aquecido;
- com umidade;

- contaminado com $CO_2$ (3,6%);
- com uma porcentagem de mais ou menos 15,7% de $O_2$.

Como o ar insuflado na vitima não é ar puro, mais sim contaminado com 3,6% de $CO_2$ e pobre em $O_2$, a respiração boca a boca, não é eficiente. Assim, é importante transferir o mais rápido possível, os cuidados da vítima, ao pessoal treinado (paramédicos) dos serviços de ambulância, que providenciará o imediato transporte ao hospital.

Durante a respiração boca a boca deve-se observar se o ar está indo realmente para os pulmões da vítima. Isto porque o ar pode estar indo para o estômago. Nesse caso, deve-se verificar o que está impedindo o ar de ir para os pulmões.

Em caso de ocorrer somente a parada respiratória, quanto mais rápido atender a vítima e aplicando adequadamente os primeiros socorros, maior é a probabilidade de reanimação. As probabilidades de reanimação estão apresentadas na tabela 3.15.1.

| Tempo decorrido após a parada respiratória, para iniciar a respiração artificial (minuto) | Probabilidade de reanimação da vítima ( % ) |
|---|---|
| 1 | 95 |
| 2 | 90 |
| 3 | 75 |
| 4 | 50 |
| 5 | 25 |
| 6 | 1 |
| 8 | 0,5 |

Tabela 3.15.1 – Probabilidade de reanimação da vítima

## 3.16 Massagem Cardíaca e Respiração Artificial

É claro que a massagem cardíaca deve ser feita juntamente com a

respiração artificial.

Com a respiração artificial garante-se a oxigenação do sangue e com a massagem cardíaca a irrigação sangüínea de todo o corpo.

Uma pessoa sem treinamento e preparo físico não conseguirá fazer sozinha por muito tempo a massagem cardíaca e respiração boca a boca. O ideal é fazer massagem cardíaca e respiração boca a boca com vários operadores, como está indicado na figura 3.16.1.

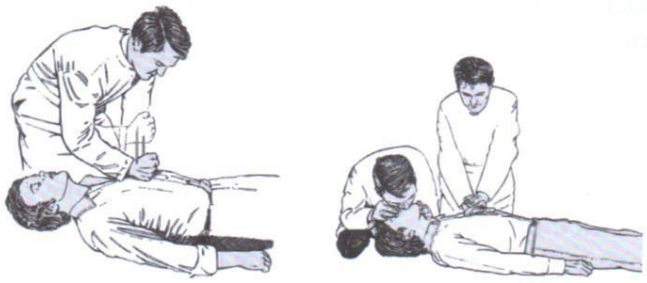


Figura 3.16.1 – Massagem cardíaca e respiração boca a boca

Neste caso, o procedimento continuado e repetitivo deve ser executado da seguinte maneira:

- inicialmente e somente uma vez, dar um soco precordial, isto é, na região do coração;
- efetuar 30 massagens cardíacas, com intervalo de 0,6 segundos entre elas;
- efetuar duas respirações (ventilação) boca a boca.

O diâmetro da pupila é usado como guia nas manobras de ressuscitação: pupilas não dilatadas indicam que a compressão cardíaca e a ventilação artificial estão sendo adequadas na oxigenação cerebral. Se as pupilas estiverem dilatadas, é indicativo que a irrigação cerebral está deficiente.

A massagem cardíaca e respiração artificial são executadas continuadamente até a utilização do desfibrilador elétrico.

O soco precordial não reverte a fibrilação ventricular, mas, tem eficácia de 11% a 25% na taquicardia.

Apresentou-se, aqui nesse texto, os primeiros socorros relativos a

massagem cardíacas e respiração artificial, mas essa regra não é definitiva, existem outros modos e variantes desses procedimentos.

## 3.17 Necropsia

Choque elétrico de alta tensão produz queimaduras intensas, deixando evidências da causa da morte. Em baixa tensão, o choque elétrico é de baixíssima intensidade e o efeito das queimaduras é pequeno e a morte ocorre devida praticamente ao efeito da fibrilação ventricular, sem deixar marcas no coração.

Note-se que, se a massagem cardíaca e respiração artificial não forem feitas, as fibras musculares dos ventrículos em fibrilação irão, por não receber nutrientes e oxigênio, se exaurir até parar. Deste modo, a fibrilação ventricular cessa, passando para o estágio de parada cardíaca. Esta exaustão das fibras se dá no período de 8 a 12 minutos, dependendo da pessoa e do estado do coração da vítima.

Quando a pessoa morre, o corpo é levado ao hospital, e só bem mais tarde o médico-legista efetuará a necropsia (autópsia). Isto é, efetuará os procedimentos normais de investigação para descobrir a *causa mortis*. No exame de rotina, o médico-legista, na necropsia, constata que a morte foi devido a uma parada cardiorrespiratória. Isto porque a corrente elétrica que origina a fibrilação ventricular não deixa marca no coração.

Esse é um problema sério para os familiares dos técnicos que trabalham com eletricidade. Pela legislação vigente não fica caracterizada a morte por acidente de trabalho.

Quando a corrente de choque elétrico deixa marcas evidentes, a denominação médica é:

- ☹ **Eletrocussão**: são as mortes causadas pela utilização intencional da corrente elétrica (por exemplo: Morte por execução na cadeira elétrica);
- ☹ **Eletroplessão**: morte causada acidentalmente pela corrente do choque elétrico;
- 😐 **Eletrotraumatismo**: são os danos no corpo humano causado por choques elétricos, não incorrendo em morte.

# Capítulo IV

# Efeitos do Choque Elétrico no Corpo Humano

## 4.1 Introdução

Procura-se abordar os efeitos que a corrente do choque elétrico pode causar no corpo humano. Os efeitos mais conhecidos, atualmente, são os devidos aos choques elétricos causados por:

- corrente contínua;
- corrente alternada em 50 ou 60Hz.

O mundo atual é movido à energia elétrica alternada em 50Hz ou 60Hz, daí a grande preocupação e conhecimento nessa área.

Já para as correntes de choque elétrico de outros tipos, poucos estudos foram efetuados.

O corpo humano, mais precisamente o coração, responde distintamente para correntes diferentes de choque elétrico, daí a necessidade de ampliar as pesquisas.

A corrente elétrica que invade o corpo humano trafega procurando os órgãos de menor resistividade elétrica. Portanto, alguns órgãos com esta característica ficarão mais susceptíveis a danos.

Outros sintomas, de difícil análise, são os provocados pelo choque elétrico cujos efeitos e danos nos órgãos só aparecerão mais tarde. Estes danos podem aparecer após dias ou meses.

## 4.2 Choque Elétrico

Quando o corpo humano inadvertidamente toca qualquer parte energizada de uma rede elétrica, a diferença de potencial existente produz uma corrente elétrica que passa pelo corpo. Essa corrente produz vários efeitos que são conhecidos por choque elétrico. Os efeitos do choque elétrico no corpo humano vão depender de certas circunstâncias, tais como:

- percurso da corrente do choque elétrico pelo corpo humano;
- espécie de corrente elétrica;
- intensidade da corrente elétrica;
- tempo de duração do choque elétrico;
- frequência da corrente elétrica;
- tensão elétrica;
- área de contato do choque;
- pressão do contato com o material energizado;
- condições da pele do indivíduo;
- espraiamento da corrente do choque pelo corpo humano;
- região do choque no corpo humano;
- constituição física do indivíduo, quanto a peso e altura;
- estado de saúde do indivíduo, quanto às condições orgânicas e psicológicas;
- outras condições do indivíduo, quanto à próteses metálicas internas no corpo, marca-passo, transplante, etc...

Às situações acima são associadas as mais diversas possibilidades de efeitos no corpo humano. Os sintomas do choque elétrico no corpo humano, sucintamente, estão relacionados a seguir:

- ☹ contrações musculares;
- ☹ tetanização dos músculos;
- ☹ aquecimento dos músculos, órgãos e sangue;
- ☹ queimaduras dos ossos, músculos, órgãos, etc...
- ☹ parada respiratória;
- ☹ parada cardíaca;
- ☹ fibrilação ventricular do coração;
- ☹ eletrólise no sangue;
- ☹ perturbação no sistema nervoso;
- ☹ problemas renais;
- ☹ problemas mentais;
- ☹ perdas de memória;
- ☹ prolapso em órgãos ou músculos;
- ☹ retenção sangüínea;
- ☹ outros...

No decorrer deste capítulo, serão analisados com mais profundidade as situações acima citadas.

## 4.3 Região de Contato do Choque Elétrico

O choque elétrico se dá devido ao toque acidental de qualquer parte do corpo humano com a rede elétrica energizada.

Como o choque elétrico ocorre involuntariamente, isto é, acidentalmente, a mão é à parte do corpo com maior incidência. Isto porque são as mãos que executam praticamente todas as tarefas dos seres humanos.

Estatisticamente, as incidências em ordem decrescente dos choques elétricos no corpo humano, estão assim relacionadas: mãos, braços, costas, cabeça, pernas, troncos, etc...

## 4.4 Percurso e Espraiamento da Corrente do Choque Elétrico

De acordo com o item anterior, a região de contato do corpo humano com a área energizada define praticamente o percurso da corrente do choque elétrico. Na maioria dos choques a corrente elétrica segue o percurso da região de toque até o solo, como mostra a figura 1.4.1. A figura mostra claramente o espraiamento da corrente elétrica do choque elétrico dentro do corpo humano.

O espraiamento vai se adequar de acordo com a condutividade dos órgãos e pela seção transversal do corpo humano. Mesmo assim, a densidade de corrente será inversamente proporcional à área da seção transversal do corpo humano a qual a corrente elétrica do choque atravessa.

A tabela 4.4.1 apresenta a resistividade elétrica de alguns órgãos do corpo humano.

| Órgão | Resistividade Elétrica Ω.cm |
|---|---|
| Fígado | 342 |
| Pulmão | 157 |
| Músculos do coração | 175 |
| Músculos | 171 |
| Rim | 211 |
| Baço | 405 |
| Gorduras | 3850 |
| Ossos | > 17580 |

Tabela 4.4.1 – Resistividade elétrica de órgãos do corpo humano

O choque elétrico também pode ocorrer entre duas regiões distintas do corpo humano, por exemplo, como está apresentado na figura 4.4.1.

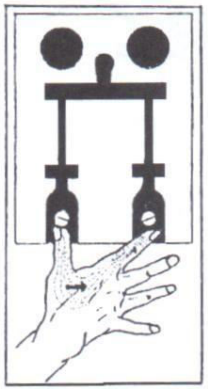


Figura 4.4.1 – Choque elétrico entre os dois dedos

Supondo a pessoa isolada do solo, o choque da figura 4.4.1 não representa risco de vida, porque a corrente flui entre os dois dedos. Dependendo do valor da corrente elétrica, podem-se produzir vários danos na mão.

Se um pé toca um fio energizado como apresentado na figura 4.4.2, a corrente segue pela perna, corpo, perna e vai para o solo.

Figura 4.4.2 – Choque elétrico no pé

Já na figura 4.4.3, o choque elétrico se dá entre as duas mãos, supondo que a pessoa esteja com os pés sobre uma superfície isolante.

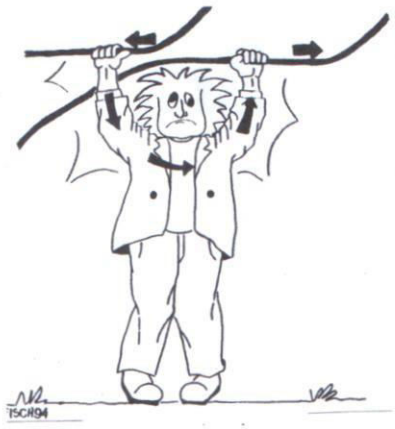


Figura 4.4.3 – Choque elétrico entre duas mãos

Dependendo do caso, o choque elétrico pode ocorrer simultaneamente em várias regiões do corpo humano. Neste caso os efeitos e danos são maiores.

## 4.5 Área de Contato

A área de contato do corpo humano com a parte energizada é que definirá a região de penetração da corrente do choque elétrico na pele. Quanto maior a área de contato com o circuito energizado, maior será a corrente de choque e, em conseqüência, maiores os danos. Como geralmente a área de contato é muito pequena, nesta região a densidade de corrente é grande, produzindo queimaduras na pele no ponto de entrada da corrente.

Quanto maior a pressão (força) do contato na área do corpo humano com o eletrodo energizado, maior será a corrente de choque elétrico.

## 4.6 Duração do Choque Elétrico

Como apresentado no item 4.2, o dano no corpo humano depende também da duração do choque elétrico.

Para uma mesma corrente elétrica passando pelo corpo, de uma maneira geral, quanto mais tempo persistir o choque elétrico, maiores são os danos e as suas conseqüências.

O tempo do choque elétrico vai depender das circunstâncias da ocorrência do toque acidental na rede energizada.

Na maioria das vezes, a própria contração muscular devido ao choque elétrico, produz movimentos bruscos, e por sorte, livrando a pessoa do contato do local energizado. Outras vezes, o próprio desmaio, por ação da queda do corpo, livra a pessoa do choque elétrico.

Mas no sistema elétrico em geral, no momento de um defeito no equipamento, a corrente de curto-circuito, produz uma elevação no potencial das massas (carcaças), criando uma tensão de toque que, em conseqüência, faz passar uma corrente de choque pelo corpo humano. Nesse caso, o curto-circuito e o choque elétrico persistem até a atuação da proteção com a conseqüente abertura do disjuntor. Isto é o que ocorre em todos os equipamentos elétricos, que tem suas carcaças aterradas. O aterramento [10] bem projetado, conciliado com a sensibilidade da proteção, limita o tempo de choque elétrico. Este limite, de acordo com o item 4.22, deve estar abaixo do limite que causa fibrilação ventricular do coração.

O acidente com maior perigo e conseqüências graves é quando a pessoa fica inevitavelmente presa ao circuito elétrico. Neste caso, dependendo da intensidade da corrente elétrica, vários efeitos podem ocorrer. Essas consequências e efeitos serão apresentadas nos itens a seguir.

## 4.7 Intensidade de Corrente do Choque Elétrico

Toda corrente é um deslocamento de cargas elétricas impostas pelo campo elétrico criado pela tensão elétrica do choque. O valor da corrente elétrica é que determina a intensidade do choque. O valor, isto é, a intensidade de corrente, vai depender da diferença de potencial e das condições da resistência elétrica do percurso do choque no corpo humano.

O corpo humano é uma massa eletrolítica condutora, portanto, pode ficar sujeita acidentalmente a energização. A intensidade de corrente juntamente com o seu tempo de atuação gerarão as diversas possibilidades de danos nos tecidos, órgãos, músculos, ossos e sistemas funcionais no corpo humano.

A tabela 4.7.1 dá apenas uma noção da variação dos efeitos no corpo humano em função da intensidade de corrente do choque elétrico.

| I(mA) | | Reação Fisiológica | Consequência | Salva-mento | Resultado Final mais Provável |
|---|---|---|---|---|---|
| CA | DC | | | | |
| Até 25 | Até 80 | 1mA (CA) limiar de sensação (formigamento)<br>5-15mA (CA) contração muscular<br>15-25mA (CA)<br>-Contrações violentas, impossibilidade de soltar o fio<br>-Problemas respiratórios | Se a corrente for próxima de 25 mA (CA), poderá haver problemas respiratórios e consequentemente a morte aparente | Respiração Artificial | Restabelecimento |
| 25-80 | 80-300 | -Sensação insuportável<br>-Contrações violentas<br>-Asfixia | Morte Aparente | Respiração Artificial | Restabelecimento |
| > 80 | > 300 | -Asfixia imediata<br>-Fibrilação ventricular<br>-Alterações musculares (químicas)<br>-Queimaduras | Morte Aparente | -Respiração Artificial<br>-Massagem cardíaca | Caso levado ao hospital e feito a desfibrilação, possibilidade de restabelecimento |
| Ordem de Ampères | | -Queimaduras<br>-Necrose do tecido<br>-Fibrilação Ventricular<br>-Asfixia imediata<br>-Danos posteriores provenientes da eletrólise | -Morte Aparente<br>-Dependendo da extensão das queimaduras, sequelas ou morte | -Respiração Artificial<br>-Massagem cardíaca<br>-Tratamento hospitalar | -Hospital<br>-Desfibrilação Ventricular<br>-Recuperação difícil<br>-Atrofia muscular<br>-Outros danos |

Tabela 4.7.1 – Efeitos da variação da corrente do choque elétrico no corpo humano

Observe-se que a tabela não leva em consideração o tempo do choque elétrico, portanto as considerações não representam a realidade, mas serve apenas como ilustração dos seus efeitos e danos no corpo humano.

O efeito no corpo humano da corrente de choque, sem considerar o tempo, está apresentado de maneira simbólica no diagrama da figura 4.7.1.

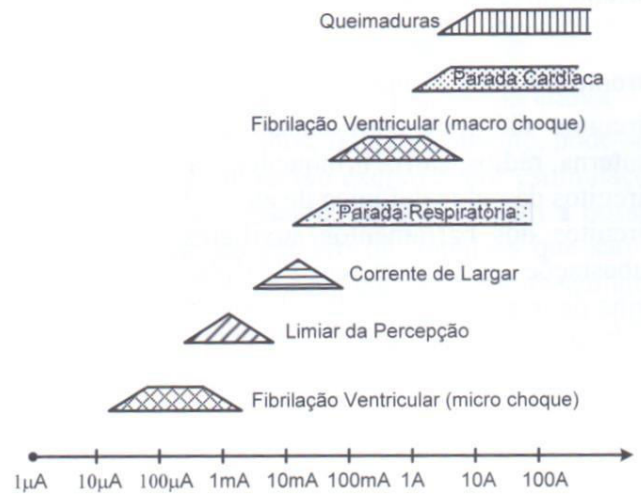



Figura 4.7.1 – Efeito da corrente do choque elétrico no corpo humano

Para uma tensão de contato acidental, a intensidade da corrente do choque vai depender da:

- ✧ pele da pessoa;
- ✧ área de contato;
- ✧ calçado da pessoa;
- ✧ percurso da corrente pelo corpo;
- ✧ resistividade do solo.

## 4.8 Tipo de Corrente do Choque Elétrico

A forma da onda da corrente do choque vai depender do tipo de tensão elétrica utilizada no equipamento manipulado. O choque mais comum é a de forma senoidal, isto porque a energia elétrica utilizada no mundo é senoidal.

A corrente de choque elétrico pode ser do tipo:

- corrente alternada senoidal;
- corrente contínua;
- corrente exponencial;
- corrente alternada em forma retangular;
- corrente alternada em forma de dente de serra, etc...

A corrente contínua é muito empregada nos:

- circuitos elétricos com tensão de até 12 Volts, tais como: lanterna, rádios, carro, brinquedos, calculadoras, etc...;
- circuitos da rede telefônica de até 48 Volts;
- circuitos dos barramentos auxiliares de corrente contínua das subestações, geralmente em 115Volts;
- linha de transmissão em DC de Alta Tensão. Por exemplo, Linha de Transmissão que vai da usina de geração elétrica de Itaipú na cidade de Foz do Iguaçú/PR até Ibiúna na grande São Paulo/SP, perfazendo 900km com tensão de 600kV em DC. Um choque elétrico neste nível de tensão a pessoa morre por queimaduras antes de qualquer outro sintoma.

Em alta tensão a corrente do choque elétrico é elevada e a pessoa morre por queimaduras, não importando o tipo ou forma de onda da tensão.

## 4.9 Contração Muscular Pelo Choque Elétrico

A corrente elétrica do choque produz vários efeitos e sintomas no corpo humano. Desses efeitos, o mais conhecido e sentido pela população é o da contração muscular. Todo músculo percorrido por uma corrente elétrica sofre um estímulo que provoca a sua contração. A força da contração muscular depende da intensidade e do tipo da corrente de choque elétrico.

Um dos primeiros cientistas a demonstrar a contração muscular pela corrente elétrica foi Luigi Galvani (1737 – 1798), na sua famosa experiência com uma rã. Figura 4.9.1.

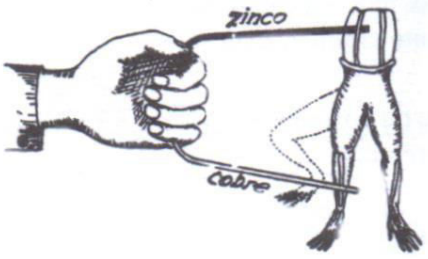



Figura 4.9.1 – Contração muscular pela corrente elétrica

Em termos mais aprofundados, fisiologicamente, pode-se dizer que o músculo do corpo humano é um tecido excitável por estimulações elétricas. Na movimentação normal do músculo, de acordo com a nossa vontade, o processo se dá pela emissão do cérebro de impulsos que são transmitidos por uma cadeia de neurônios sensoriais até as fibras musculares do tecido. Os impulsos, ao chegarem às fibras, desenvolvem potenciais eletroquímicos que promovem a contração e a consequente movimentação do músculo.

Quando o músculo recebe um choque elétrico, a corrente desenvolve potenciais eletroquímicos, dando-se a contração muscular.

Para um mesmo músculo, aumentando-se gradualmente a corrente elétrica do choque de certo tipo, desde o valor zero até um valor limite, têm-se vários estágios de contração, definidos nos itens subsequentes.

## 4.10 Limiar da Sensibilidade da Corrente de Choque

Durante um trabalho num equipamento elétrico, dependendo da situação do ato acidental ou da condição de isolação do equipamento toda a sorte de choque elétrico pode ocorrer. Todo equipamento energizado tem uma pequena fuga de corrente, que se dá diretamente pela isolação ou através da capacitância parasita intrínseca do circuito com a massa do equipamento. Se a carcaça do equipamento estiver aterrada, as pequenas correntes fluirão imperceptivelmente para a terra, mas se o equipamento não estiver aterrado, quando ocorrer o contato, pelo corpo da pessoa passará uma pequena corrente que pode estar no limiar da sensibilidade do ser humano ou já com uma tênue percepção.

Cada músculo tem sensibilidade distinta em relação ao estímulo provocado pela corrente elétrica. Esta sensibilidade depende do(a):

- ✓ músculo;
- ✓ intensidade de corrente;
- ✓ tipo de corrente;
- ✓ pessoa.

O limiar da sensibilidade de um músculo é definido pela menor corrente elétrica que produz um sinal, estímulo, percebido racionalmente pelo cérebro, isto é, pela pessoa.

O limiar da sensibilidade para corrente contínua e corrente alternada em função da freqüência está apresentado nas curvas 1, 2 e 3 da figura 4.13.2.

## 4.11 Corrente de Não Largar

Dependendo da intensidade da corrente, o músculo sofre contração, mas ainda precariamente obedece ao comando do cérebro. O limite mínimo da corrente elétrica do choque que produz uma contração muscular com perda do comando da pessoa é conhecido por *corrente de não largar*.

Choque elétrico maior que a *corrente de não largar* faz com que a pessoa fique definitivamente presa (agarrada) ao condutor energizado. Os valores destes limites também estão mostrados nas curvas 4, 5 e 6 da figura 4.13.2.

## 4.12 Tetanização do Músculo Pelo Choque Elétrico

A corrente elétrica do choque provoca contrações musculares, cessando a mesma, o músculo tende a relaxar voltando à sua condição normal.

A tetanização é a paralisação (crispação) do músculo causado pela intensa contração muscular devido ao choque elétrico. Mesmo cessado o choque elétrico o músculo persiste paralisado por certo tempo. Assim, a

tetanização (tonismo) é um tipo de câimbra no músculo causada pelo choque elétrico.

## 4.13 Frequência da Corrente de Choque Elétrico

Em relação à corrente elétrica senoidal o comportamento da impedância do corpo humano é levemente capacitivo. Esse comportamento capacitivo não produz nenhum efeito que venha a causar mais ou menos danos ao corpo humano. A capacitância não é fixa, é variável com a freqüência, portanto, foge das análises efetuadas sobre um capacitor fixo.

O corpo humano é constituído de vários órgãos superpostos e mantido pelos músculos que estão rigidamente presos à estrutura óssea. Os órgãos, músculos e ossos, estão imersos num plasma eletrolítico, coberto pela pele humana.

O comportamento da contração muscular para uma corrente elétrica senoidal de mesma amplitude, mas com frequência variada, está mostrado na figura 4.13.1.

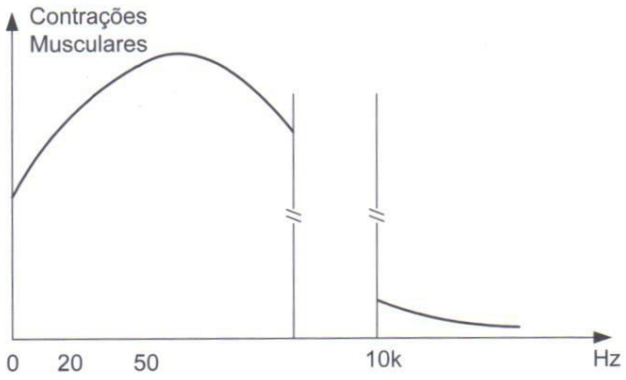



Figura 4.13.1 – Contrações musculares x frequência para corrente elétrica constante

Observa-se a resposta distinta do músculo em relação à variação da frequência para a mesma condição do choque elétrico.

As curvas da figura 4.13.2 da referência [7] mostram os valores da corrente de choque elétrico senoidal versus frequência, para as mesmas condições de contrações musculares.

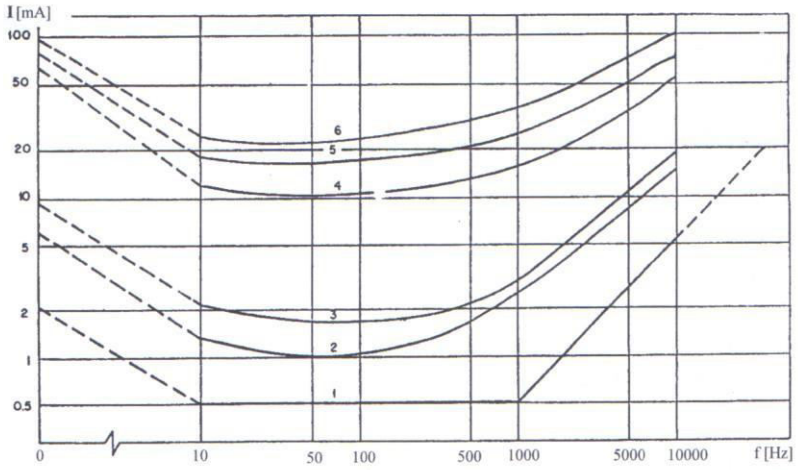



Figura 4.13.2 – Corrente elétrica x frequência para a mesma contração muscular

Onde:

Curva 1 ⇒ mostra o limite convencional das intensidades de corrente elétrica do choque que não resulta nenhuma percepção;

Curva 2 ⇒ início da percepção para 50% das pessoas;

Curva 3 ⇒ início da percepção para 99,5% das pessoas;

Curva 4 ⇒ *corrente de largar* para 99,5% das pessoas;

Curva 5 ⇒ *corrente de largar* para 50% das pessoas;

Curva 6 ⇒ *Corrente de não largar* para 99,5% das pessoas.

Observa-se uma acentuada alteração nos valores da corrente elétrica com variação da frequência para a mesma condição de contração muscular.

As correntes de choque menores que as demarcadas pela Curva 1, não provocam percepção na pessoa. Choques com correntes elétricas maiores que a limitada pela Curva 3, já dão mostra da sua presença. Para choques com correntes menores que as da Curva 4, as contrações estão dentro dos limites do comando da vontade da pessoa. A pessoa ficará presa se o choque for maior que o da Curva 6.

Note-se que as frequências de 50 ou 60Hz, não são favoráveis ao ser humano, com respeito à contração muscular devido à corrente de choque elétrico.

As condições de *corrente de não largar* em DC e na frequência de 10kHz em AC, são praticamente as mesmas. O choque elétrico de altíssima frequência será analisado no item a seguir.

## 4.14 Efeito *Skin*

Nota-se pelas figuras 4.13.1 e 4.13.2 uma forte atenuação na contração muscular para choque elétrico em AC em altas frequências.

Sabe-se que com o aumento da frequência elétrica, as cargas das correntes elétricas tendem a percorrer caminhos mais periféricos da seção transversal do condutor. Este fenômeno é o efeito *Skin*.

Devido ser o corpo humano condutor, o efeito *Skin* ou pelicular também ocorre no homem. Choque em alta frequência faz com que a corrente elétrica percorra a região superficial do corpo. Isto é, pela derme da pele humana. Nesse caso, como a corrente não passa no interior do corpo, os músculos internos e o coração estão livres dos efeitos e sintomas do choque elétrico.

Pessoas que trabalham com equipamentos de altas frequências não devem usar objetos metálicos, tais como: anéis, relógios, pulseiras, correntes, óculos, etc... isso porque o choque elétrico, produz campos magnéticos em alta frequência com um poder extremamente elevado de gerar tensões induzidas em materiais metálicos. Estas tensões induzidas geram correntes que elevam a altíssimas temperaturas os metais no corpo, com a consequente queimadura na vítima. Esses profissionais deverão usar objetos e adornos de plástico.

## 4.15 Tensão do Choque Elétrico

O nível de tensão da rede de energia, ou do equipamento elétrico, definirá o potencial do choque, que poderá variar desde zero até o valor máximo de tensão de trabalho. Esta tensão de choque será sempre menor ou igual à tensão elétrica do circuito.

A tensão do choque obrigará a corrente elétrica a passar pelo corpo humano. A forma de onda da corrente de choque é a mesma da tensão do

circuito energizado. Até certo limite, a resistência do corpo humano varia inversamente com o valor de tensão do choque. Esta análise será apresentada no item 4.19.

Quanto maior o nível de tensão maior é o perigo do choque elétrico. Mas a tensão elétrica que mais causa mortes é a de baixa tensão. As tensões mais usadas pelos consumidores são: 127 e 220 Volts. A população da terra está totalmente imersa num novelo de fios energizados em baixa tensão. Ocorrendo acidentes ou falha na isolação, a taxa de exposição ao risco é elevada, advindo choques com consequências diversas e inclusive fatais.

Os efeitos causados pela tensão elétrica podem ser divididos em duas categorias:

**1) Choque elétrico em baixa tensão**

Sob condições normais do corpo humano, a corrente elétrica injetada pela tensão do choque não é muito grande, ficando geralmente abaixo de 300mA. Portanto, os efeitos causados por esta corrente neste nível de tensão são geralmente:

- ☹ problemas ou parada respiratória, se a corrente for pequena mas de longa duração;
- ☹ fibrilação ventricular do coração e parada respiratória;
- ☹ queimaduras para correntes maiores com longa duração.

A grande vilã de causar morte neste nível de tensão é a fibrilação ventricular do coração.

**2) Choque elétrico em alta tensão**

Choque elétrico neste nível de tensão é fulminante, causando quase sempre a morte. A corrente de choque nestas condições é da ordem de Ampères, o efeito mais drástico é a morte por queimaduras. A alta corrente de choque provoca um rombo na pele, queima e derrete a carne e ossos. O plasma e sangue do corpo se cauterizam. Quanto maior o nível de tensão, mais rápidos e fortes são estes efeitos. Mesmo assim, muitas pessoas sobrevivem ao choque de Alta Tensão. Este verdadeiro milagre se deve ao fato da corrente do choque produzir uma verdadeira explosão de contração nos músculos, tirando e jogando a vítima longe. Deste modo, o tempo do choque é muito pequeno, na ordem de μs. Mesmo assim, ainda neste curto

espaço de tempo, a corrente de choque, devido às queimaduras, produz vários efeitos, danos e sequelas, tais como:

- perda de massa muscular;
- perda de massa óssea;
- atrofia na região;
- perda de coordenação motora;
- perda da sensibilidade;
- perda de memória;
- problemas mentais;
- etc...

As recuperações são feitas com tratamentos prolongados, seguidos de várias cirurgias plásticas.

## 4.16 Resistência Elétrica do Corpo Humano

O corpo humano é uma massa eletrolítica, constituída de órgãos presos por músculos fixados na estrutura óssea, tudo envolto pela pele.

Sendo o corpo humano um condutor, o mesmo estará sujeito à corrente elétrica, desde que acidentalmente participe do circuito energizado.

A resistência do corpo humano diminui com o aumento da tensão do choque elétrico, advindo daí, um perigo maior porque a corrente aumenta. Ou seja, a resposta do comportamento da resistência do corpo humano em relação ao nível da tensão elétrica do choque é contrária à segurança humana. Isto é, quanto maior a tensão elétrica, menor será a resistência do corpo humano e será maior a corrente do choque, consequentemente maior e o risco.

No macro choque, a corrente elétrica passa por três barreiras que limitam o choque. As barreiras são constituídas por impedâncias formadas pela:

- pele humana na entrada e saída da corrente;
- parte interna do corpo humano.

Atualmente, os pesquisadores adotam o modelo de impedância, figura 4.16.1, proposto por **Freiberger** [63], para choques em AC de 50Hz ou 60Hz.

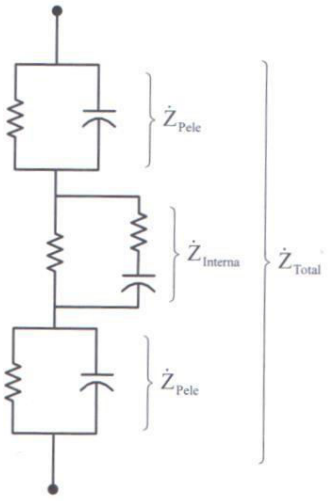



Figura 4.16.1 – Modelo equivalente de impedância do corpo humano

Onde:

$\dot{Z}_{Pele}$ ↣ impedância equivalente da pele humana.

$\dot{Z}_{Interna}$ ↣ impedância interna do corpo humano.

$\dot{Z}_{Total}$ ↣ impedância total do corpo humano.

A impedância da pele do corpo humano será analisada com mais profundidade nos itens 4.17, 4.18 e 4.19.

A impedância interna do corpo humano, de acordo com o modelo da figura 4.16.1, é levemente capacitiva. Geralmente o efeito capacitivo do corpo humano é desconsiderado e a impedância interna passa a ser resistiva.

**C. F. Dalziel** atribui 500Ω como sendo o máximo valor de resistência interna do corpo humano entre as extremidades, isto é, o maior percurso da corrente elétrica do choque.

Após pesquisa, **U. Sam** [65] determinou a resistência interna do corpo humano para várias possibilidades de percurso da corrente do choque. Todos os valores da resistência interna mostradas na figura 4.16.2 são valores percentuais da resistência interna entre as duas mãos, relativos ao percurso (trecho) considerado.

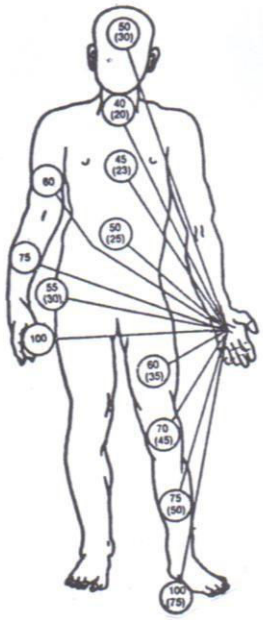



Figura 4.16.2 – Resistência interna do corpo humano para diferentes percursos

O número entre parênteses representa o valor percentual da resistência interna do corpo humano, relativo ao percurso da corrente elétrica das duas mãos (segurando um eletrodo condutor) e o ponto considerado, em relação à resistência entre as duas mãos.

Para um choque entre a cabeça e a mão esquerda, por exemplo, a resistência interna deste trecho é de 50% da resistência interna entre as duas mãos. Isto é, para a mesma tensão de contato, a corrente de choque entre cabeça e a mão é o dobro do choque entre mãos.

Já o choque entre as duas mãos (no mesmo potencial) e cabeça, a resistência interna é 30% da resistência interna entre mãos. Neste caso, para a mesma tensão de contato, o choque é 3,33 vezes maior.

Ensaios experimentais mostraram que a resistência interna do corpo humano entre a mão e ambos os pés é de 75% do valor entre mãos, e ambas as mãos para os dois pés de 50%.

Os valores da figura 4.16.2 são relativos à resistência do corpo sem a pele humana, mas verificou-se que a mesma proporção é, também, válida para a impedância total do corpo.

Já **Biegelmeier** [41], efetuou medições em seres vivos e em cadáveres. Nos seres vivos as medições foram feitas com tensão de contato de até 150V e extrapolados para até 700V. Os resultados das medidas estão condensados na figura 4.16.3.

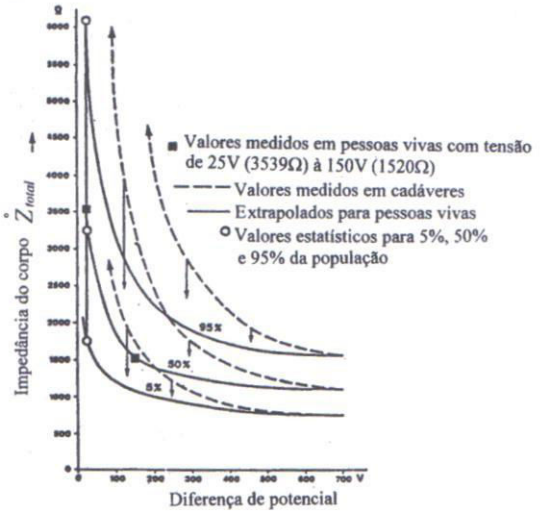



Figura 4.16.3 – Impedância total do corpo humano x tensão de contato

Atualmente, estes valores são aceitos para até 250V. Isto porque a partir desta tensão a pele é danificada, mudando acentuadamente a sua característica e o perfil da impedância total do corpo humano. A partir de 700V, o dano causado pela corrente do choque destrói completamente a pele, portanto a pele humana deixa de existir e consequentemente a sua resistência elétrica.

A resistência do corpo humano varia acentuadamente com nível de umidade da pele, assunto este analisado com mais profundidade no item seguinte.

## 4.17 Pele Humana

A pele humana equivale a 14% do peso do corpo humano, é composta basicamente de duas partes designadas de *epiderme* e *derme*. Ver figura 4.17.1.

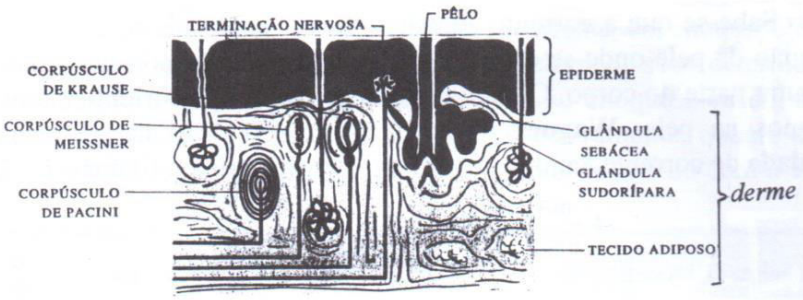



Figura 4.17.1 – Pele humana

A epiderme é a parte externa da pele composta por glândulas e pêlos, com constituição seca e escamosa. Deste modo, é mau condutora elétrica, sendo que sua resistência elétrica varia principalmente com o estado de umidade no local do contato com o circuito energizado.

A derme é constituída de vasos e nervos, por isso é úmida e boa condutora. É pela derme que as correntes de choque de altas freqüências percorrem. Se o choque em alta freqüência for elevado, toda a derme é queimada e dissolvida, tornando-se uma pasta gelatinosa. A epiderme perde a aderência com o corpo, ficando flácida e caída.

De acordo com o modelo da figura 4.16.1, o circuito equivalente da pele é representado por uma impedância capacitiva. Em termos de equivalente elétrico, a pele tem uma estrutura composta de camada semicondutora e pequenos elementos condutores (poros). A impedância da pele depende de:

- tensão de contato;
- frequência elétrica;
- tempo de choque;
- área de contato;
- pressão de contato;
- umidade da pele;
- temperatura da pele;
- tipo da pele.

A impedância da pele acompanha o mesmo comportamento indicado na figura 4.16.3, isto é, decai com o aumento da tensão de contato, isto é, agravando o perigo.

Sabe-se que a corrente aumenta com a tensão elétrica do choque, e na região da pele onde se dá o contato, a densidade de corrente é maior do que outra parte do corpo. Quanto maior a densidade de corrente maiores são os danos na pele. **Wagner** [66] fez análise do dano na pele devido à densidade de corrente, cujo resultado está apresentado na figura 4.17.2.

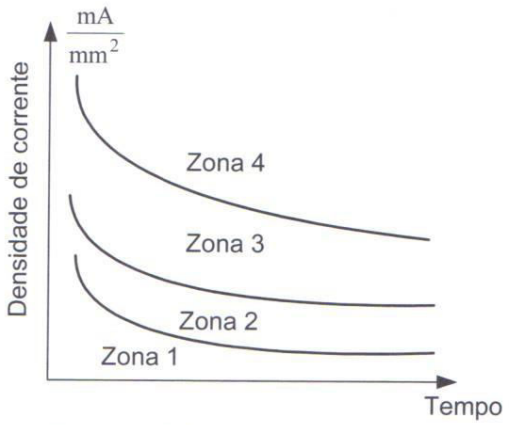



Figura 4.17.2 – Dano na pele humana

Onde:

- Zona 1 → nenhum dano na pele;
- Zona 2 → pequenas mudanças na pele, vermelhidão em torno do eletrodo;
- Zona 3 → dano acentuado na pele na região do eletrodo com (até) formação de bolhas;
- Zona 4 → queimaduras profundas, chegando até a carbonizar a pele.

A figura 4.17.2 apresenta os danos na pele em função da densidade de corrente no ponto de contato do choque elétrico.

## 4.18 Classificação da Pele Humana

O macro choque, definido no item 1.5, é o choque elétrico de origem externa, a corrente penetra e atravessa a pele, invade o corpo humano, e sai pela pele em outro local.

A pele humana praticamente limita a corrente do choque elétrico. Portanto, faz-se mister, analisar o choque elétrico sob determinadas condições (estado) da pele humana. Em relação ao choque elétrico, a pele humana é classificada [15] pelo seu estado, respectivamente, quanto ao seu grau de umidade, sendo enquadrada em 4 categorias de acordo com a Tabela 4.18.1.

| Código da Pele | Classificação | Características da Pele | Aplicações e Exemplos |
|---|---|---|---|
| **BB1** | elevada | condições secas | Circunstâncias nas quais a pele está seca (nenhuma umidade, inclusive suor). |
| **BB2** | normal | condições úmidas | Passagem da corrente elétrica de uma mão à outra ou de uma mão a um pé, com a pele úmida (suor) e a superfície de contato sendo significativa (por exemplo, um condutor está seguro dentro da mão). |
| **BB3** | fraca | condições molhadas | Passagem da corrente elétrica entre duas mãos e os dois pés, estando as pessoas com os pés molhados a ponto de se poder desprezar a resistência da pele dos pés. |
| **BB4** | muito fraca | condições imersas | Pessoas imersas na água, por exemplo, em banheiras ou piscinas. |

Tabela 4.18.1 – Classificação da pele humana

A condição **BB2** é a situação da pele humana da pessoa normal no seu dia a dia de trabalho. A pele do trabalhador está suada e é nesta condição **BB2** que ocorrem à maioria dos choques elétricos.

A condição **BB3** caracteriza o estado da pele humana, quando se está tomando banho com chuveiro ou ducha.

Já no código **BB4** a pele está extremamente macia, úmida e frágil, a resistência elétrica é baixa, em consequência o choque elétrico é violento.

Para efetuar um projeto seguro da instalação elétrica, consorciado com o seu aterramento elétrico, deve-se considerar o tipo de atividade sob as 4 classificações da pele, em termos do risco de fibrilação ventricular.

## 4.19 Resistência do Corpo Humano de Acordo com a Classificação da Pele

Sob as condições da pele humana do item anterior, medidas da resistência do corpo humano foram efetuadas [20], aplicando-se tensão elétrica alternada senoidal entre as duas mãos ou entre mão e pés. Os valores medidos estão apresentados na Tabela 4.19.1.

Analisando a Tabela 4.19.1, observam-se várias características do comportamento do corpo humano.

| Tensões de Choque [V] | BB1 | | BB2 | | BB3 | | BB4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | R[Ω] | I[mA] | R[Ω] | I[mA] | R[Ω] | I[mA] | R[Ω] | I[mA] |
| 10 | 6500 | 1,6 | 3200 | 3,1 | 1200 | 8,3 | 500 | 20,0 |
| 25 | 5000 | 5,0 | 2500 | 10,0 | 1000 | 25,0 | 400 | 62,5 |
| 50 | 4000 | 12,5 | 2000 | 25,0 | 875 | 57,1 | 300 | 166,0 |
| 100 | 2200 | 45,4 | 1500 | 66,0 | 730 | 136,0 | 260 | 384,0 |
| 250 | 1000 | 250,0 | 1000 | 250,0 | 650 | 384,0 | 200 | 1250,0 |

Tabela 4.19.1 – Medidas de resistência do corpo humano sob condições **BB**s da pele

Para a mesma tensão elétrica, a resistência diminui com o grau de umidade da pele, aumentando o risco do choque elétrico.

Para a mesma condição da pele humana, o aumento da tensão elétrica diminui a resistência elétrica do corpo humano, aumentando, também, o choque elétrico. Essa tendência do corpo humano contraria a filosofia da segurança. Aqui, no caso, quanto maior o risco, maior é o perigo, porque a resistência do corpo humano diminui com a tensão.

Para os trabalhadores do setor elétrico em geral, considera-se a situação **BB2** da pele humana. Neste caso, a resistência do corpo tende a saturar no valor de 1000Ω quando a tensão do choque chega até o valor de 250 volts, sob o ponto de vista do risco da fibrilação ventricular do coração. Por este motivo, a resistência do corpo humano recomendada pela IEEE-80,

referência [17], é de 1000Ω. Valor este usado nos projetos de dimensionamento dos sistemas de aterramento [10], relativos à segurança humana, porque o choque nestas condições não danifica a pele.

Não tem sentido estimar a resistência do corpo humano para choque elétrico em alta tensão. Isto porque a corrente do choque em alta tensão é grande, queima, danifica e derrete a pele, a morte é causada antes por queimaduras e não por fibrilação ventricular.

## 4.20 Corrente de Choque em AC no Corpo Humano Versus Tempo

Muitas pesquisas foram efetuadas no sentido de obter-se um equacionamento que espelhasse a realidade do efeito da corrente elétrica do choque no corpo humano. No entanto, devido a diferentes condições do choque e do próprio corpo humano, ainda não se obteve sucesso.

O valor da corrente de choque versus tempo produz efeitos no corpo humano que estão enquadrados na curva da figura 4.20.1.

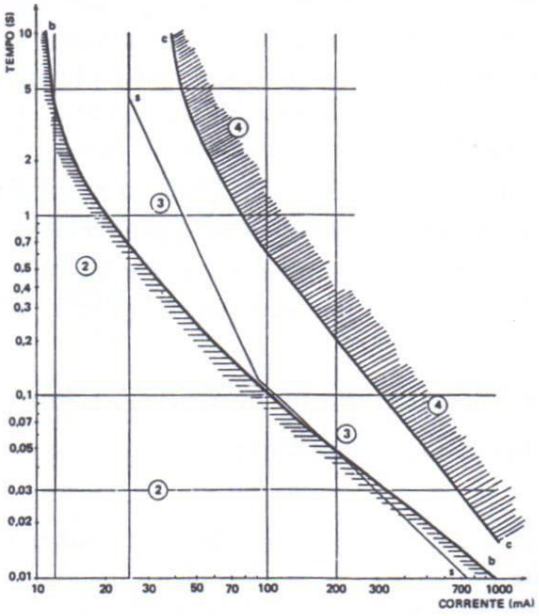



Figura 4.20.1 – Corrente versus tempo de choque

Onde:

**Zona 2** → geralmente nenhum efeito patofisiológico perigoso.

**Zona 3** → zona que produz algum efeito perigoso. O efeito mais importante é o pulmonar para corrente com tempos elevados nesta faixa. Nesta zona, já pode haver risco de fibrilação.

**Zona 4** → zona perigosa com probabilidade de fibrilação ventricular superior a 50% das pessoas.

**Curva S** → curva de segurança com probabilidade de 0,5% de ocorrência de fibrilação ventricular.

Essa figura 4.20.1, constante da referência [69], é válida para corrente de choque em 50Hz e 60Hz, é uma tentativa de indicar a ação da corrente elétrica do choque no tempo, para atingir determinados efeitos no corpo humano.

A assíntota da **Curva S** da figura 4.20.1 se dá no valor de 25mA. Isto significa que um choque elétrico de até 25mA não vai causar fibrilação ventricular no coração.

Por exemplo, o projeto da malha de terra da usina de Itaipú foi feito de modo que a pior corrente de curto-circuito gerasse potenciais de passo e toque menores que aquele que injeta no corpo humano corrente de 25mA, que é o limite de fibrilação ventricular no coração humano de uma pessoa adulta. Assim, em qualquer curto-circuito a corrente no corpo humano será $\leq 25$ mA, decorrente das tensões de toque ou de passo.

Se a corrente na ordem de 25mA persistir por muito tempo, começa haver problemas respiratórios, inclusive até a parada respiratória.

Pela figura 4.20.1, a análise vai até 1A, porque daí em diante os efeitos térmicos do choque elétrico sobrepujam a fibrilação ventricular.

## 4.21 Curvas de Segurança da Tensão do Choque de Acordo com a Classificação da Pele

Observe-se que a curva de segurança **S** da figura 4.20.1 efetuada em relação à corrente de choque, é válida independente da condição da pele humana. Pode-se, entretanto, construir curvas de segurança **S** de tensão de

choque para cada condição da pele humana, bastando fazer a conjugação da curva de segurança **S** da figura 4.20.1, com a Tabela 4.19.1.

Deste modo, obtém-se a figura 4.21.1.

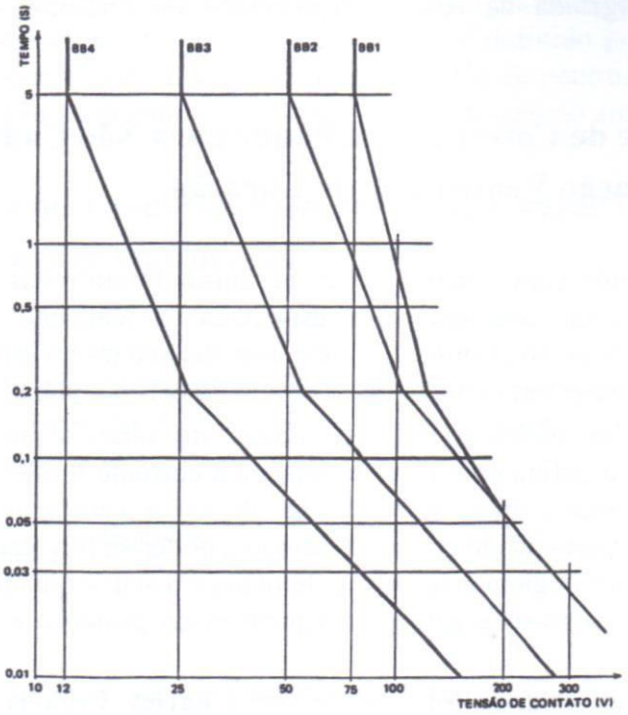



Figura 4.21.1 – Curvas de segurança **S** de tensão para cada condição da pele humana

O projeto do sistema de aterramento depende do tipo da instalação, da sua utilização e do local, e da curva de segurança caracterizada pela classificação da pele humana.

Para a situação do tipo de atividade que deixa a pele na condição **BB4**, a tensão máxima de alimentação das instalações ou equipamentos elétricos é de 12V, que é a assíntota da curva de segurança **BB4** na figura 4.21.1. As luminárias imersas na água da piscina, por exemplo, devem ter as lâmpadas alimentadas por um circuito de 12V. Nesta condição, em caso de um choque acidental, não haverá risco de fibrilação ventricular do coração.

Já no caso da pessoa com a pele na condição **BB3**, os equipamentos ao seu alcance devem ter tensão no máximo de 25V para não haver risco de fibrilação ventricular do coração.

A tensão máxima em AC para não haver risco de fibrilação ventricular é de 50V, para a condição **BB2**.

Os choques analisados neste item são para toques acidentais diretos na parte energizada da rede, equipamentos ou circuitos da instalação elétrica.

## 4.22 Limite de Corrente de Choque para Não Causar Fibrilação Ventricular do Coração

De acordo com o item 4.20, as pesquisas foram feitas no sentido de obter-se um equacionamento que espelhasse a realidade do efeito da corrente elétrica no corpo humano. Essa correlação é muito difícil devida ser impossível caracterizar com certeza o estado do corpo humano.

No setor elétrico, há necessidade de obter-se uma expressão matemática que defina com certa segurança a corrente limite em função do tempo de choque e que não cause a fibrilação ventricular do coração humano. Essa necessidade é crucial, devido à poder-se projetar aterramentos elétricos que privilegiem a segurança humana e a sensibilidade da proteção. Deste modo, obtém-se a garantia da atuação da proteção e da segurança humana.

Essa necessidade foi suprida por **Charles Francis Dalziel**, que conclui, após pesquisas, que 99,5% das pessoas com peso de 50kg ou mais, podem suportar sem a ocorrência de fibrilação ventricular, a corrente elétrica determinada pela expressão 4.22.1.

$$I_{choque} = \frac{0{,}116}{\sqrt{t_{choque}}} \qquad (4.22.1)$$

Onde:

$I_{choque}$ ↦ máxima corrente elétrica [A] de choque que não causa fibrilação ventricular no coração humano, pessoa com 50kg ou mais, durante o tempo $t_{choque}$.

$t_{choque}$ ↦ tempo [s] do choque, sendo limitado pela expressão 4.22.2.

$$0{,}03s \leq t_{choque} \leq 3s \qquad (4.22.2)$$

O tempo de choque é limitado por várias condições e situações do choque.

Geralmente, no setor elétrico, em termos de segurança humana, para a obtenção da tensão de toque e passo gerada pela maior corrente de curto-circuito monofásico a terra, o tempo de choque é definido pela atuação da proteção, de acordo com a curva de tempo do relé de neutro, associado ao tempo de atuação do disjuntor mais o tempo de extinção do arco elétrico.

## 4.23 Tensão de Toque Máxima para Não Causar Fibrilação Ventricular do Coração

A máxima tensão de toque entre a mão e o pé no solo, conforme situação semelhante a da figura 1.11.1, é obtida pela conjunção da expressão 1.11.3 com a expressão 4.22.1 de **C. F. Dalziel**. Neste caso, este limite é definido pela expressão 4.23.1 ou 4.23.2.

$$V_{\text{toque máximo}} = (1000 + 1{,}5\rho_{\text{solo}})\frac{0{,}116}{\sqrt{t_{\text{choque}}}} \tag{4.23.1}$$

$$V_{\text{toque máximo}} = \frac{116 + 0{,}174\rho_{\text{solo}}}{\sqrt{t_{\text{choque}}}} \quad \text{[Volts]} \tag{4.23.2}$$

A tensão de toque máximo para não causar fibrilação ventricular, fornecida pelas expressões anteriores, é feita considerando os pés distanciados de 1m da massa metálica na qual a mão está tocando.

Este é o valor limite de segurança usado no projeto do sistema de aterramento considerado. Isto é, o aterramento é considerado seguro, para qualquer corrente de curto-circuito, se a tensão de toque na carcaça do equipamento, durante o defeito, for menor ou igual ao limite de tensão de toque para causar fibrilação ventricular do coração. Essa é a garantia de que não haverá morte por tensão de toque neste aterramento.

## 4.24 Tensão de Passo Máxima Para Não Causar Fibrilação Ventricular do Coração

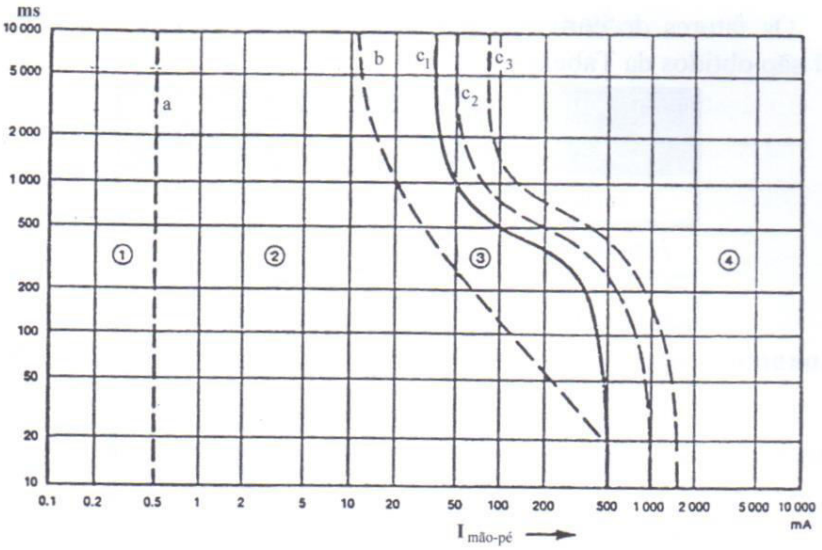



Figura 4.25.1 – Efeito da corrente $I_{mão-pé}$ x tempo no corpo humano

Onde:

**Zona 1** ⇨ nenhuma reação no corpo humano.

**Zona 2** ⇨ nenhum efeito patofisiológico perigoso.

**Zona 3** ⇨ geralmente, não produz nenhum dano orgânico. Já aparecem contrações musculares, dificuldades respiratórias e perturbações cardíacas reversíveis. Aparecem problemas respiratórios se o tempo for longo. A zona 3 está limitada pela curva **b** e **c1**.

**Curva C2** ⇨ probabilidade de até 5% de fibrilação ventricular.

**Curva C3** ⇨ probabilidade de até 50% de fibrilação ventricular.

**Zona 4** ⇨ zona limitada pela curva **c1**. Além dos problemas intensificados da zona 3 produz aumento gradativo de risco da fibrilação ventricular, sendo que após a curva **c3** a probabilidade é maior que 50%. A parada respiratória ocorre concomitantemente com a fibrilação ventricular.

Os fatores de corrente pelo coração, a serem usados na expressão 4.25.1 são obtidos da Tabela 4.25.1.

| Percurso da Corrente Elétrica do Choque | FCC |
|---|---|
| mão esquerda e pé esquerdo | 1,0 |
| mão esquerda e pé direito | 1,0 |
| mão esquerda e pés | 1,0 |
| mãos e pés | 1,0 |
| entre as mãos | 0,4 |
| mão direita e pé esquerdo | 0,8 |
| mão direita e pé direito | 0,8 |
| mão direita e pés | 0,8 |
| mão direita e costas | 0,3 |
| mão esquerda e costas | 0,7 |
| mão direita e peito | 1,3 |
| mão esquerda e peito | 1,5 |
| mão esquerda e nádegas | 0,7 |
| mão direita e nádegas | 0,7 |
| mãos e nádegas | 0,7 |

Tabela 4.25.1 – FCC e percurso da corrente de choque

Os valores da Tabela 4.25.1, relativos ao FCC estão aumentados para favorecer a segurança.

A importância do FCC é de poder comparar percursos diferentes que produzem o mesmo sintoma no corpo.

**Exemplo 4.25.1**: Um choque elétrico de 250mA entre mãos com duração de 1 segundo. Calcular:

**a) A corrente de choque equivalente entre mão e pé.**

Solução:

$$I_{mãos} = 250\,mA \qquad FCC = \frac{I_{mão-pé}}{I_{percurso}}$$

$$0{,}4 = \frac{I_{mão-pé}}{250} \qquad I_{mão-pé} = 100\,mA$$

**b) Qual o provável efeito que esta corrente causa no corpo humano.**

Solução:

Levando o valor de $I_{mão-pé} = 100\,mA$, com duração de 1segundo, na figura 4.25.1, obtém-se um ponto intermediário entre as curvas **c2** e **c3**, portanto, as possibilidades são:

- probabilidade de 25% de fibrilação ventricular;
- parada respiratória associada à fibrilação ventricular;
- consequências decorrente da fibrilação ventricular.

**c) Qual a corrente de choque entre mão esquerda e peito, que produza o mesmo efeito.**

Solução:

$$I_{mão-pé} = 100\,mA \qquad I_{mão\ esquerda-peito} = ?$$

$$FCC = 1{,}5 \qquad 1{,}5 = \frac{100}{I_{mão\ esquerda-peito}}$$

$$I_{mão\ esquerda-peito} = 66{,}66\,mA$$

**Conclusão:** O choque elétrico de 66,66mA durante 1segundo entre mão esquerda e peito, é equivalente a 250mA entre mãos e 100mA entre mão e pé.

## 4.26 Queimaduras Devido ao Choque Elétrico

A corrente de choque produz queimaduras de diversos graus no corpo humano.

Quando uma corrente elétrica passa através de uma resistência elétrica é liberada a energia calorífica. Este fenômeno é denominado de **efeito Joule**. A expressão 4.26.1 rege esta propriedade.

$$E_{calorífica} = R_{corpo\ humano} I^2_{choque} t_{choque} \qquad (4.26.1)$$

Onde:

$R_{corpo\ humano}$ ⇨ Resistência elétrica [Ω] do corpo humano, ou se for o caso, só a resistência de parte do corpo, do músculo ou órgão afetado;

$I_{choque}$ ⇨ Corrente elétrica do choque [A];

$t_{choque}$ ⇨ Tempo de choque [s];

$E_{calorífica}$ ⇨ Energia em joules [J] liberada no corpo humano.

O calor liberado aumenta a temperatura da parte atingida do corpo humano, podendo produzir vários efeitos e sintomas, que podem ser:

- ☹ queimaduras de 1º, 2º ou 3º graus nos músculos do corpo;
- ☹ aquecimento do sangue, com a sua consequente dilatação;
- ☹ aquecimento podendo provocar o derretimento dos ossos e cartilagens;
- ☹ queima das terminações nervosas e sensoriais da região atingida;
- ☹ queima das camadas adiposas ao longo da derme, tornando-as gelatinosas.

As condições acima não acontecem individualmente, mas sim, associadas, advindo, em consequência, outras causas e efeitos nos demais órgãos, comprometendo o funcionamento do corpo humano.

Pela expressão 4.26.1, pode-se observar que no choque em Alta Tensão, a corrente é grande. Como o efeito térmico depende da corrente de choque ao quadrado, o seu efeito de queimaduras é devastador.

O choque em Alta Tensão queima, danifica, fazendo buracos na pele nos pontos de entrada e saída da corrente pelo corpo humano. Os tecidos

queimados ficam cauterizados e o corpo fica petrificado. As vítimas do choque de Alta Tensão morrem devidas principalmente as queimaduras. E as que sobrevivem ficam com sequelas, geralmente com:

- ✧ perda da massa muscular;
- ✧ perda parcial de ossos;
- ✧ diminuição e atrofia muscular;
- ✧ perda da coordenação motora;
- ✧ cicatrizes, etc...

Os efeitos térmicos provocados pela corrente do choque elétrico de menor amplitude produzem queimaduras internas no corpo humano de difícil diagnóstico. As queimaduras nos músculos, vasos e artérias, de elevados graus, produzem necrose, com a consequente gangrena. A gangrena é sempre uma condição de alto risco para o corpo humano, devendo ser extirpada. Se a gangrena não for extirpada, ela evolui para outras regiões do corpo. Além disso, toda queimadura facilita a infecção, pois abaixa a imunidade da pele e da região atingida.

Os choques elétricos em baixa tensão têm pouco poder térmico. Se a corrente persiste por muito tempo, a morte é, geralmente, devido à fibrilação ventricular do coração. Num acidente com choque elétrico, se a vítima desmaiar com o fio energizado preso ao seu corpo, com o passar do tempo, o efeito térmico produz queimaduras, danificando a pele, que em consequência aumenta a corrente do choque. Esta corrente aumentada eleva o efeito térmico queimando a massa muscular da pessoa. A queimadura também é provocada de modo indireto, isto é, devido a mau contato ou falhas internas no aparelho elétrico, neste caso, a corrente provoca aquecimentos internos, elevando a temperatura a níveis perigosos. Queimaduras também são causadas pelo arco elétrico decorrente do curto-circuito no local do defeito.

## 4.27 Parada Respiratória

A parada respiratória pode ocorrer direta ou indiretamente devido ao choque elétrico.

Choque com corrente elétrica menor do que a do limite de fibrilação ventricular do coração, com o passar do tempo, produz comprometimento na

capacidade respiratória do indivíduo, devido principalmente à fadiga e tensionamento do músculo do diafragma. O diafragma é um músculo transverso que divide a região torácica e abdominal, é responsável pelos movimentos que promovem o enchimento (inspiração) de ar nos pulmões.

Se o choque for de alta intensidade o tensionamento exagerado do músculo produz a tetanização do diafragma, em consequência a parada respiratória. Se o coração continuar funcionando, a circulação será só de sangue venoso, o que deixa a vítima em estado de morte aparente. Neste caso, deve-se recorrer à respiração artificial, caso contrário, o quadro clínico deteriora, tendendo para a morte.

É evidente que a pane geral no corpo humano gerada por um choque elétrico que produz fibrilação ventricular no coração, em consequência, provoca a parada respiratória.

## 4.28 Parada Cardíaca Devido ao Choque Elétrico

Similarmente ao item anterior, choque com correntes elevadas produz a tetanização das fibras musculares do tecido do coração. Este estado exagerado do tensionamento das fibras deixa o coração preso: é a parada cardíaca.

Também neste caso, os procedimentos e consequências são idênticos à da fibrilação ventricular do coração.

## 4.29 Eletrólise no Sangue

No caso específico do corpo humano, que é constituído de 70% de matéria líquida, e tem dissolvido, ou em suspensão, vários tipos de sais minerais, o choque em corrente contínua provoca o efeito da aglutinação desses sais, fenômeno este conhecido por ELETRÓLISE.

A eletrólise ocorre no sangue e no plasma líquido de todo o corpo. No sangue este efeito pode ocasionar:

- 😐 mudança da concentração de sais minerais, produzindo desequilíbrio no corpo humano, gerando mal funcionamento de outros elementos (órgãos);

- 😐 aglutinação de sais, produzindo bolinhas que provocam coágulos no sangue. Estes coágulos aumentam ou se aglutinam com outros, aumentando o seu tamanho, provocando trombose nas artérias, veias, vasos, etc... com risco de morte da pessoa.

Um caso notório é a mudança no equilíbrio de $K^+$ no sangue, desregulando o funcionamento do Nódulo Sino Atrial, provocando a parada cardíaca.

O efeito de eletrólise provocado pelo choque em AC é muito pequeno e pode ser desconsiderado.

O sangue é condutor de eletricidade e tem uma resistividade na faixa de 135Ωcm a 150Ωcm.

## 4.30 Perda da Coordenação Motora

O choque elétrico pode prejudicar a coordenação motora da pessoa, principalmente, por:

- ❖ atrofia muscular;
- ❖ danos neurológicos.

Os comandos emanados pelo cérebro que controlam o acionamento muscular são complexos. Os sinais, emanados pelo cérebro, são pulsos elétricos que, através de uma rede neurotransmissora, são transmitidos numa sequência de reações químicas até chegar ao músculo correspondente. Num acidente, o choque elétrico, superposto ao sinal transmissor natural do corpo, provoca uma pane geral, advindo daí toda a sorte de riscos e sequelas. Sequelas diversas, com possível perda de sensibilidade e coordenação motora, inclusive suscitando ao longo do tempo o *Mal de Parkison*.

## 4.31 Perda de Sensibilidade

A corrente elétrica queima e danifica os sensores da sensibilidade na área do choque, produzindo a perda total ou parcial da sensibilidade nessa região.

## 4.32 Danos no Cérebro

Muitos acidentes ocorrem com choque elétrico na parte superior da cabeça, figura 4.32.1.

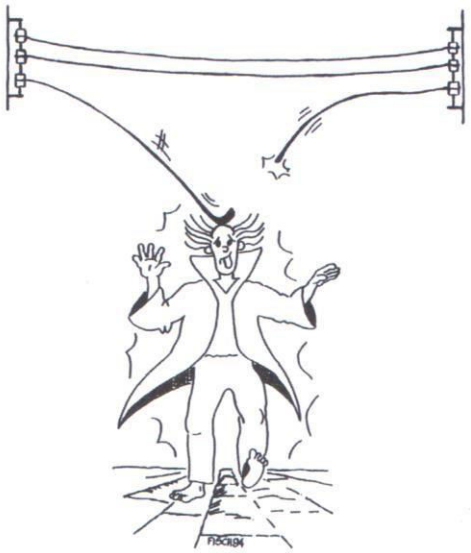


Figura 4.32.1 – Choque elétrico na cabeça

A corrente elétrica do choque, passando através do cérebro, pode produzir efeitos diversos, com sequelas graves, inclusive a morte.

Os efeitos possíveis são:

- inibição do cérebro;
- dessincronização nos seus comandos;
- edema;
- isquemia;
- aquecimento;
- dilatação.

A isquemia no cérebro é provocada pela detenção da circulação sanguínea. Dependendo da gravidade do choque elétrico, os danos no cérebro podem danificar regiões especializadas em certas funções, produzindo sequelas, tais como:

- perda da memória;
- perda do raciocínio;
- perda da fala;
- comprometimento nos movimentos;
- perda da visão;
- etc...

O choque elétrico na cabeça, inevitavelmente atingirá o bulbo, produzindo donos no centro cardiorrespiratório.

## 4.33 Danos na Visão

Os danos, decorrentes do choque elétrico, causados no olho humano, podem ser diretos ou indiretos.

O choque elétrico acidental na região do olho humano pode prejudicar a visão pelos seguintes motivos:

- queimaduras;
- comprometimento da retina;
- aquecimento e dilatação dos líquidos contidos no olho, isto é, do *humor aquoso* e *vítreo*;
- prolapso, isto é, deslocamentos de parte do olho ou dos músculos que controlam a íris, cristalino ou dos movimentos do olho.

Ocorrem danos indiretos no olho humano, quando o choque no cérebro, afeta a região especializada em interpretar os impulsos sensoriais elétricos, emitido pelas células cones e bastonetes da retina.

Nos acidentes elétricos, os curtos-circuitos provocam arcos elétricos. A alta temperatura do arco elétrico pode queimar ou jogar gases e material metálico fundido no olho humano, podendo cegar a pessoa.

## 4.34 Danos Renais

A corrente elétrica do choque, ao passar pelos rins pode comprometer o funcionamento desse órgão, geralmente produzindo os seguintes efeitos:

- insuficiência renal;
- enuresia (incontinência urinária).

Os choques elétricos que produzem queimaduras em tecidos internos, principalmente nos músculos, estes liberam grande quantidade de mioglobina, que é uma substância tóxica para os rins, acarretando a insuficiência renal, mormente se a pessoa estiver desidratada.

Os problemas renais geralmente aparecem depois de certo tempo, ficando difícil fazer a correlação do efeito com o choque elétrico.

## 4.35 Fibrilação Atrial do Coração Devido ao Choque Elétrico

O choque elétrico produz fibrilação ventricular e mais raramente a fibrilação atrial.

Pessoas cujos corações já passaram pelo processo da fibrilação ventricular devido ao choque elétrico ficam daí em diante, mais susceptível à fibrilação atrial.

Se por qualquer motivo, ocorrer somente a fibrilação atrial, o funcionamento do ventrículo, consegue manter um bombeamento razoável do sangue. Isto se dá porque os músculos dos ventrículos são muito fortes e consegue nas suas contrações e relaxamentos um adequado bombeamento de sangue. Os ventrículos, nos seus relaxamentos, aspiram sangue do átrio, e nas contrações forçam a circulação de sangue pelo corpo.

A fibrilação atrial é caracterizada por:

- ausência da onda **P** no Eletrocardiograma;
- tremulação das fibras musculares do Átrio;
- frequência das tremulações de 350 a 600 por minuto.

A reversão da fibrilação atrial também é feita através do emprego do desfibrilador elétrico. Neste caso a regulagem inicial é de 100J.

O pior caso para o indivíduo, relativamente ao choque elétrico, é a ocorrência simultânea da fibrilação atrial e ventricular.

## 4.36 Prolapso Devido ao Choque Elétrico

Prolapso é o deslocamento, com mudança temporária ou definitiva de órgão ou músculos no corpo humano, devido à passagem da corrente elétrica do choque.

Durante o choque elétrico, todo o corpo sofre uma verdadeira convulsão. Os músculos se contraem, o sangue se dilata, há uma pane nos sistemas neurotransmissores, que em consequência, pode produzir o prolapso de qualquer órgão ou músculo. Dependendo do grau de deslocamento, pode ocorrer toda ordem de comprometimento.

Os choques elétricos de grande amplitude, passando através do coração, podem produzir o prolapso na válvula Mitral.

## 4.37 Estado de Saúde do Indivíduo

É claro que a reação do corpo humano ao choque elétrico vai depender do estado de saúde da vítima. Pessoas fortes e saudáveis suportam bem os choques elétricos, inclusive com maior duração. Uma pessoa doente, debilitada, fica mais vulnerável aos efeitos provocados pelo choque elétrico, piorando sua situação.

O estado de saúde, relativo a suportabilidade ao choque elétrico, depende do:

- ✓ estado físico do indivíduo;
- ✓ estado psicológico do indivíduo.

Uma pessoa doente fica com o estado físico e psicológico debilitado, agravando o efeito do choque elétrico. O mesmo ocorre com o estado psicológico da pessoa, relativo a *stress*, problemas mentais, depressão, etc...

Note-se que a ansiedade, angústia, calafrios e febres influenciam na qualidade da pele, reduzindo enormemente a impedância do corpo humano, e aumentando a corrente elétrica do choque.

## 4.38 Perfil da Pessoa

A corrente do choque elétrico provoca efeitos distintos no corpo humano, que depende do perfil da vítima. Os efeitos podem se agravar mais, dependendo do perfil do indivíduo quanto a:

- idade;
- tamanho;
- peso;
- sexo;
- etc...

Em termos de segurança, em relação ao choque elétrico, o ideal seria que a pessoa fosse gorda, baixinha e com tórax grande.

## 4.39 Arco Elétrico

Um acidente (curto-circuito) na rede elétrica provoca arcos elétricos no ponto da falha. O curto-circuito aparece em decorrência da quebra do isolamento do equipamento elétrico ou devido ao um surto de tensão. A corrente do curto-circuito é alta e no ponto da falha ocorre a presença do arco elétrico. O arco elétrico é constituído pelo material ionizado da quebra da rigidez do ar. O arco elétrico é caracterizado por:

- Alta temperatura;
- Alta luminosidade;
- Ionização do ar e material fundente dos componentes metálicos e isolantes no ponto da falha;
- Alta vaporização dos materiais no ponto da falha;
- Correntes convectivas do ar e gases decorrentes das diferenças de temperaturas e pressão no ponto do curto-circuito.

Assim, o arco elétrico pode queimar a pele ou cegar a vítima. A temperatura do arco elétrico é elevada, derretendo os elementos metálicos do equipamento e queimando violentamente o corpo humano. As queimaduras, neste caso, são de fora para dentro do corpo, isto é, ao contrário das queimaduras devido ao choque elétrico.

Outro agravante é a alta luminosidade associada com a alta emissão de raios ultravioletas que podem danificar o tecido da retina, produzindo problemas oftálmicos ao olho humano.

## 4.40 Choques Elétricos Especiais

Choques elétricos especiais são causados acidentalmente nas pessoas, sob certas circunstâncias ou características, tais como:

- choques no local do corte da pele humana;
- pessoas com próteses internas metálicas;
- gravidez;
- marcapasso;
- durante cirurgias;
- durante exames invasivos;
- etc...

De acordo com o item 4.19, a grande barreira da corrente elétrica de choque é a pele humana. Se por azar, o choque ocorrer no local do corte no corpo, a corrente elétrica será muito maior, aumentando os seus danos.

Em pessoas com próteses metálicas longas no corpo, durante o choque, a corrente passará pela prótese metálica. O risco é decorrente do dano provocado por queimaduras nos pontos de entrada e saída da corrente elétrica na prótese. Estes danos ocorrem se a corrente do choque for elevada, isto é, a partir de 1A. Outro risco e decorrente de proximidade de campos eletromagnéticos de altas frequências.

Na gravidez, o feto estará sujeito a todos os riscos decorrentes do choque elétrico, inclusive o da fibrilação ventricular fetal. Podendo ocorrer, também, o desprendimento placentário. Note que um choque elétrico pode ser pequeno para a mãe, mas para o feto terá característica diferentes, devido a constituição da pele e por estar submerso.

Os choques elétricos em pessoas com marca-passo, em cirurgias ou durante os exames invasivos, serão analisados com mais profundidade no Capítulo VI.

## 4.41 Considerações Finais

O corpo humano é muito complexo e seu funcionamento ainda não é totalmente conhecido. Muitos efeitos e danos do choque elétrico ainda são desconhecidos, principalmente aqueles com reflexos posteriores ao longo do tempo. Portanto, muitos estudos e pesquisas serão ainda necessários para que, talvez no futuro, seja possível estimar e conhecer todas as reações do corpo humano ao choque elétrico. Inclusive de correntes elétricas com diversas formas de onda.

# Capítulo V

# Riscos do Choque Elétrico

## 5.1 Introdução geral

O risco é uma característica inevitável da existência humana. E nesse capítulo procura-se abordar os diversos riscos que possibilitam os acidentes relacionados especificamente com os choques elétricos. As possibilidades são variadas e múltiplas, devidas principalmente a:

- instalações elétricas antigas;
- instalações inadequadas;
- material de baixa qualidade;
- projetos inadequados;
- falta de manutenção;
- acidentes mecânicos;
- manuseio inadequados dos equipamentos;

- ação da poluição ou agentes corrosivos;
- enchentes, inundação e ação da água da chuva;
- ação da fauna e flora;
- etc...

Os acidentes com choque elétrico são de alta periculosidade. Os riscos são devido a tensão elétrica do choque ser:

☹ invisível;
☹ inodora;
☹ insípida;
☹ sem vibração;
☹ sem som.

As características acima são para uma rede elétrica em baixa e alta tensão. Mas em linhas de transmissão, os campos elétricos das altíssimas tensões, produzem um zumbido devido ao efeito corona no ar.

Em relação a segurança, considera-se todo choque elétrico perigoso. Portanto, todo cuidado e prevenção são necessários nos trabalhos executados nas instalações elétricas.

## 5.2 Aterramento Elétrico

Como explanado em [10], o aterramento elétrico cumpre a finalidade principal de:

- sensibilizar os dispositivos de proteção para que sua atuação seja correta, eficiente e segura, principalmente nos curtos-circuitos;
- que os potenciais de toque e passo, gerados no sistema de aterramento durante os curtos-circuitos, sejam menores que os dos limites da fibrilação ventricular do coração;
- escoar as cargas estáticas, equalizando os potenciais elétricos das massas metálicas.

Na operação normal de um equipamento, o aterramento elétrico tem a finalidade de prover as condições acima, mas adicionalmente também, a de escoar as cargas estáticas geradas, garantindo sempre a equalização dos potenciais na área de trabalho. Cargas estáticas produzem riscos de choques

e faíscas elétricas que danificam equipamentos, principalmente os eletrônicos com microprocessador.

O maior risco no sistema de aterramento elétrico, normalmente desconsiderado por falta de conhecimento, é a corrosão nas conexões. A maioria das conexões é feita por aperto. A corrosão forma uma película de óxido, isolando o equipamento da terra. Por falta de conhecimento, confunde-se muito aterramento elétrico com o aterramento mecânico. A perda da qualidade do aterramento é um risco que pode ser evitado.

Uma recomendação simples e eficiente para manter a qualidade do aterramento é cobrir as conexões com material emborrachado. Deste modo, evita-se a corrosão e mantém-se a qualidade da conexão.

## 5.3 Riscos de Choques Estáticos

A eletricidade estática é normalmente gerada na natureza. Os elementos da própria natureza que se movimentam tendem a gerar por atrito, eletricidade estática. Esta eletricidade estática pode ser pequena ou de altíssima intensidade, como o das cargas das nuvens que propiciam o raio.

Qualquer circuito elétrico sempre gera, na circunvizinhança, cargas elétricas estáticas.

Hoje com a proliferação de equipamentos eletrônicos, principalmente os microprocessadores, cuja funcionalidade está associada a proteção, comando e controle, operam com baixíssimas tensões e quaisquer faíscas (descargas) provenientes das cargas estáticas podem danificar os componentes eletrônicos.

Nos equipamentos elétricos, em geral, utiliza-se aterrar a carcaça (massa), para escoar as cargas elétricas geradas e manter a equalização dos potenciais das massas não energizadas. Em termos de segurança é imperativo aterrar todas as partes metálicas dos equipamentos elétricos, principalmente dos armários, painéis e cubículos que contém circuitos elétricos próprios operativos do setor industrial e das empresas de energia elétrica. Assim, garante-se a equipotencialidade das tensões elétricas, e a tensão de toque no eletricista que trabalha nesse equipamento é zero. Note que todo choque elétrico, mesmo do tipo estático, provoca contrações

musculares e movimentos bruscos, que em consequência, pode-se levar a tocar em outra parte energizada do circuito, e advir daí, o acidente elétrico.

Para a proteção [1] de descargas atmosféricas (raios), utilizam-se pára-raios de **Franklin** ou **Gaiola de Faraday**.

## 5.4 Risco de Choque Elétrico Direto

Em eletricidade, o risco é quando se toca inadvertidamente ou por acidente a parte viva de um circuito de uma instalação de energia elétrica ou da parte interna energizada de um equipamento elétrico. Neste caso, o choque elétrico direto pode ser:

- *total;*
- parcial.

O choque direto total é quando toda a tensão elétrica da instalação fica aplicada ao corpo humano. Este choque ocorre em menor proporção. Acontece somente quando duas ou mais partes do corpo tocam simultaneamente duas fases, ou uma fase e o neutro ou a massa aterrada do equipamento elétrico. Neste caso, somente a resistência do corpo humano está limitando a corrente do choque elétrico. Um exemplo de choque direto total é o mostrado nas figuras 4.4.1 e 4.4.3. O choque da figura 4.4.3 é de alto risco porque a corrente elétrica, no seu trajeto, passa pelo coração.

O choque direto parcial ocorre quando uma parte do corpo humano toca diretamente a parte viva da instalação do equipamento energizado. Este é o tipo de choque apresentado na figura 5.4.1.

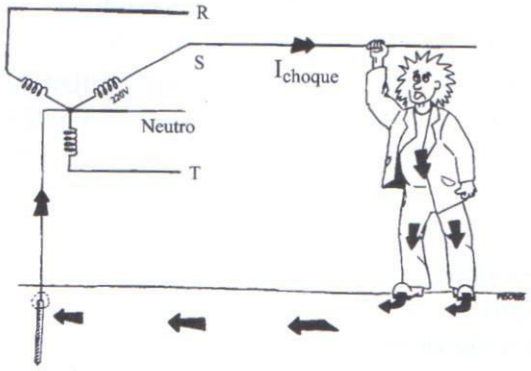



Figura 5.4.1 – Choque direto parcial

Neste caso, a corrente elétrica do choque direto parcial é atenuada pela:

- Resistência elétrica do corpo humano;
- Resistência do calçado;
- Resistência do contato do calçado com o solo;
- Resistência da terra no local dos pés no solo;
- Resistência do aterramento da instalação elétrica no ponto de alimentação de energia.

O somatório destas resistências elétricas limitará a corrente do choque e a tensão total da instalação ficará distribuída proporcionalmente de acordo com as resistências em série. Deste modo, a tensão elétrica aplicada diretamente no corpo humano é menor do que a tensão total da rede energizada, daí o nome choque elétrico direto parcial.

Portanto, pode-se observar que o mesmo tipo de acidente, mas em locais diferentes, produz riscos distintos. Note-se que em qualquer choque direto ou indireto, o corpo humano faz parte do circuito.

Comumente o choque direto total ou parcial ocorre devido a uma falha da isolação, deixando exposto ou energizando partes metálicas neutras, sem evidentemente provocar um curto-circuito. Um exemplo de choque direto parcial é o mostrado na figura 1.2.3.

## 5.5 Choque Elétrico Indireto

É o choque que ocorre quando regiões neutras (carcaças) ficam com diferença de potencial devido a um curto-circuito na instalação ou equipamento elétrico. Note-se que, neste tipo de choque, a pessoa está tocando ou pisando regiões ou elementos não energizados da instalação. Mas no momento ou, mais precisamente, durante o curto-circuito, estas áreas neutras ficam com tensão elétrica, advindo daí o nome choque elétrico indireto.

As tensões elétricas geradas momentaneamente devido ao curto-circuito são as:

- tensões de toque;
- tensões de passo.

Neste caso, o maior risco é o da fibrilação ventricular do coração humano.

Exemplos de tensão de toque e passo são mostrados nas figuras 1.11.1 e 1.12.1.

Melhorando-se a qualidade do aterramento elétrico, diminuem-se as tensões de passo e toque, consequentemente o risco da fibrilação ventricular. Nos demais itens desse capítulo, serão analisados os aspectos de segurança e riscos de equipamentos elétricos, comumente utilizados pela população.

## 5.6 Trabalhador

Todo trabalhador deve ter conhecimento e treinamento adequado para sempre manusear, operar ou consertar o equipamento elétrico em condições seguras.

Para cada tarefa, usar as ferramentas e os equipamentos de proteção individuais (EPI) apropriados, de modo a executar o trabalho sem correr risco e nem comprometer a segurança dos colegas. Os serviços em instalações elétricas estão regidos pela norma regulamentadora NR-10 e os EPIs estão previstos e indicados na NR-06 do Ministério do Trabalho e Emprego.

A atual NR-10 de dezembro/2004 estabelece que os trabalhadores que atuarem em instalações elétricas energizadas em baixa tensão (de 50 V até 1000 V em CA) devem ser qualificados, habilitados, capacitados e autorizados. Já nos trabalhos desenvolvidos em instalações de alta tensão (> 1000 V), os trabalhadores devem ter os mesmos quesitos anteriores acrescidos de treinamento específico de segurança em sistema elétrico de potência.

As intervenções serão realizadas em áreas de trabalho, denominadas de zonas livre, controlada e de risco em relação a um ponto energizado, de acordo com as zonas apresentadas na figura 5.6.1.

Onde:

- ☺ Zona livre ⇨ Zona na qual as pessoas inadvertidas que não estão relacionadas com a área de trabalho em relação ao ponto energizado podem circular normalmente sem risco.

- Zona controlada ⇨ zona restrita a trabalhadores autorizados.
- Zona de risco ⇨ zona restrita a trabalhadores autorizados com adoção de técnicas, instrumentos e equipamentos específicos ao trabalho a ser realizado.
- Superfície (material) isolante compatível com nível de tensão de trabalho do ponto energizado.

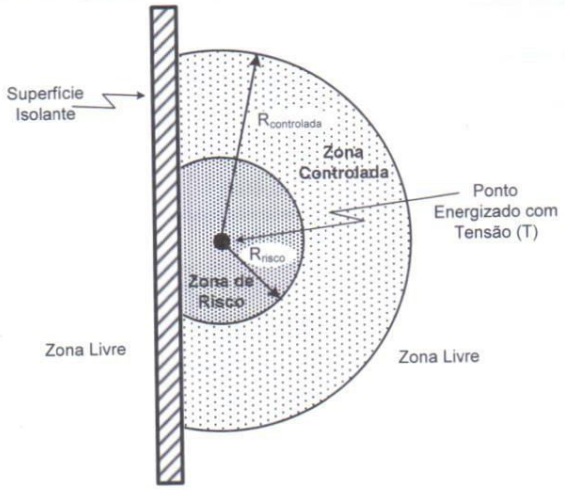



Figura 5.6.1 – Zonas livre, controlada e de risco

Entende-se por trabalhadores autorizados os que tenham feitos cursos específicos de qualificação em entidade de ensino oficial, que estejam legalmente habilitados com registro no conselho de classe da categoria e que estejam capacitados pelo empregador para a realização do respectivo serviço.

Os raios das zonas controladas ($R_{controlada}$) e de riscos ($R_{risco}$) relacionados com a tensão de trabalho são dados na tabela 5.6.1.

Nesse contexto de segurança, apresentado na figura 5.6.1 e tabela 5.6.1, a denominação de raio das zonas de risco e controlada, não está bem apropriada, deve-se entender que significa de maneira geral a menor distância de qualquer ponto de uma superfície energizada. A superfície energizada da instalação elétrica pode ter qualquer formato. Assim, o volume gerado por esse "raio" representa a zona de risco e controlada.

Geralmente a negligência, a rotina e o excesso de autoconfiança são os maiores causadores de acidentes nos eletricistas experientes.

| Tensão (T) de trabalho (kV) | Raio da zona de risco | Raio da zona controlada |
|---|---|---|
| T < 1 | 0,20m | 0,70m |
| 1 ≤ T < 3 | 0,22m | 1,22m |
| 3 ≤ T < 6 | 0,25m | 1,25m |
| 6 ≤ T <10 | 0,35m | 1,35m |
| 10 ≤ T < 15 | 0,38m | 1,38m |
| 15 ≤ T < 20 | 0,40m | 1,40m |
| 20 ≤ T < 30 | 0,56m | 1,56m |
| 30 ≤ T < 36 | 0,58m | 1,58m |
| 36 ≤ T < 45 | 0,63m | 1,63m |
| 45 ≤ T < 60 | 0,83m | 1,83m |
| 60 ≤ T < 70 | 0,90m | 1,90m |
| 70 ≤ T < 110 | 1,00m | 2,00m |
| 110 ≤ T < 132 | 1,10m | 3,10m |
| 132 ≤ T < 150 | 1,20m | 3,20m |
| 150 ≤ T < 220 | 1,60m | 3,60m |
| 220 ≤ T < 275 | 1,80m | 3,80m |
| 275 ≤ T < 380 | 2,50m | 4,50m |
| 380 ≤ T < 480 | 3,20m | 5,20m |
| 480 ≤ T < 700 | 5,20m | 7,20m |

Tabela 5.6.1 – Raio da zona controlada e de risco

## 5.7 Regra Básica da Instalação de Equipamento Elétrico

A regra geral básica recomendada para a instalação de um

equipamento elétrico, segundo as normas, é dada a seguir:

- o fio neutro vai direto a carga (equipamento);
- o fio fase vai direto ao dispositivo de controle (interruptor);
- o fio de controle (retorno) vai do dispositivo de controle ao equipamento (carga).

A figura 5.7.1 mostra claramente a regra geral de acordo com a recomendação acima.

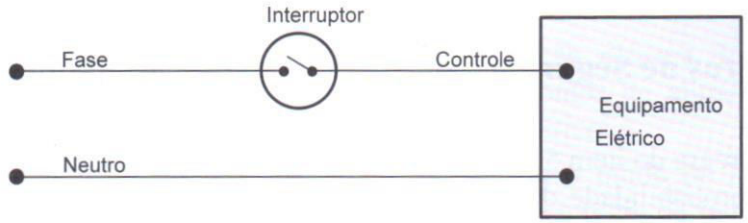



Figura 5.7.1 – Regra de instalação

Esta instalação é correta porque quando o interruptor estiver desligado (desativado), todos os circuitos internos do equipamento elétrico e o fio retorno estão sem tensão. Ou seja, as partes internas da isolação do aparelho não estão submetidas à tensão da rede. Muitos que aprenderam a fazer instalações elétricas na prática, sem orientação de cursos ou normas, executam o ofício, com o único objetivo de energizar o equipamento, de modo que ele funcione, sem levar em conta a segurança humana do usuário. Muitas destas instalações mau executadas podem ficar como a indicada na figura 5.7.2.

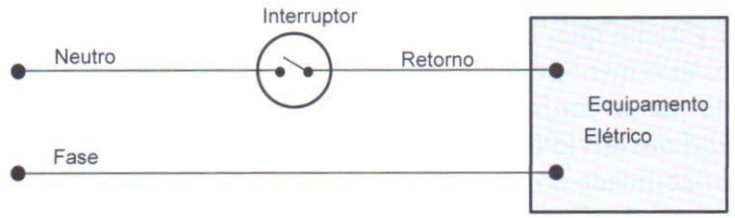



Figura 5.7.2 – Instalação elétrica errada

O problema principal desta instalação é que todo o equipamento e o fio "retorno" ficam energizados quando o interruptor está desativado (desligado). Assim, se qualquer pessoa tocar no fio retorno ou no circuito interno do equipamento receberá um choque elétrico. Mesmo com o interruptor desligado, se houver um defeito interno no aparelho, ocorrerá um

curto-circuito, podendo comprometer a segurança humana e inclusive propiciar um incêndio.

Já os que aprenderam o ofício, através de orientação dos cursos e normas, projetam e executam a instalação de acordo com o recomendado. Porém, essas regras são especificamente orientadas para a instalação elétrica, não privilegiando a segurança do equipamento quanto à durabilidade e riscos humanos.

## 5.8 Regras de Segurança da Instalação do Equipamento

A regra do item 5.7 não privilegia o equipamento quanto à segurança e menor probabilidade de ruptura da isolação devido aos campos elétricos impostos pela tensão de alimentação.

A melhor instalação, isto é, a correta, é aquela que concilia as regras do item 5.7 com as da segurança do equipamento.

A regra geral básica de segurança da instalação de um equipamento elétrico é:

*O equipamento elétrico com controle manual ou automático, quando desenergizado, deve ter sob tensão o menor circuito elétrico possível.*

Isso garante que, quando o equipamento não está operando, sempre fica sob tensão o menor circuito elétrico interno, portanto, com menor risco e conferindo maior confiabilidade ao aparelho. Esta precaução confere ao maior circuito um alívio de tensão, não forçando a isolação neste trecho, daí a maior confiabilidade do aparelho.

Na instalação de qualquer aparelho elétrico há de se identificar corretamente à fase e o neutro, de modo a se adequar à regra de segurança. Este trabalho deve ser de responsabilidade do fabricante do equipamento no qual, no plugue já deveria estar identificados o pino "fase" e o pino "neutro". Esta recomendação é a mesma para plugue com 3 pinos (pólos), já que o pino do "terra" é facilmente identificado. Nos itens sucessores, o consorciamento destas duas regras será analisado e empregado em vários

equipamentos de uso cotidiano da população.

## 5.9 Projetos da Instalação Elétrica

O projeto da instalação elétrica de residências, prédios e indústrias, seguindo as normas, leva em consideração somente e basicamente à regra do item 5.7.

No projeto, procura-se planejar a instalação elétrica distribuindo adequadamente os circuitos, de modo a suprir pontos de alimentação de energia para a posterior ligação do equipamento elétrico.

Portanto, no projeto, não está especificado o modo de ligação do equipamento na rede. Esta preocupação, que atenda a regra de segurança do item 5.8, deve ser feita pelo eletricista no momento da instalação do equipamento elétrico no respectivo ponto de alimentação. Apresentam-se nos itens seguintes alguns exemplos de instalação com o equipamento conectado.

## 5.10 Lâmpada Incandescente

A lâmpada incandescente é o elemento mais simples dos dispositivos elétricos e é utilizada maciçamente pela população.

Na instalação indiscriminada das lâmpadas incandescentes, podem ocorrer:

- instalação errada;
- instalação aparentemente correta, utilizando a regra 5.7;
- instalação correta.

Analisam-se a seguir as 3 instalações acima indicadas.

### 5.10.1 Instalação Errada da Lâmpada Incandescente

Esta instalação é executada contrariamente à recomendação da regra 5.7, isto é, há troca do fio "fase" com o fio "neutro". Ver figura 5.10.1.

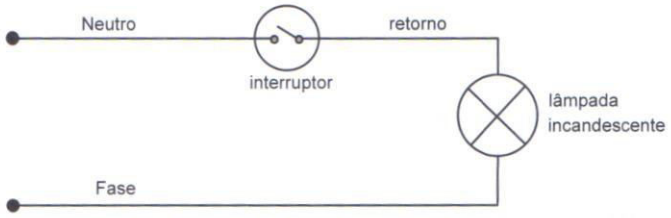



Figura 5.10.1 – Lâmpada incandescente: instalação errada

A lâmpada incandescente funciona normalmente como instalada na figura 5.10.1. Mas a instalação não está adequada porque, quando o interruptor está desativado, o fio "fase", a lâmpada incandescente, o fio "retorno" e parte do interruptor estão sob tensão, isto é, no mesmo potencial da rede elétrica, advindo daí maiores possibilidades de riscos à segurança e falha no circuito ou na lâmpada.

## 5.10.2 Instalação Aparentemente Correta da Lâmpada Incandescente

Essa instalação da lâmpada incandescente é feita de acordo com a figura 5.7.1, seguindo a regra do item 5.7.

Por exemplo, numa laje de uma futura construção, o projetista executa o desenho como indicado na figura 5.10.2.

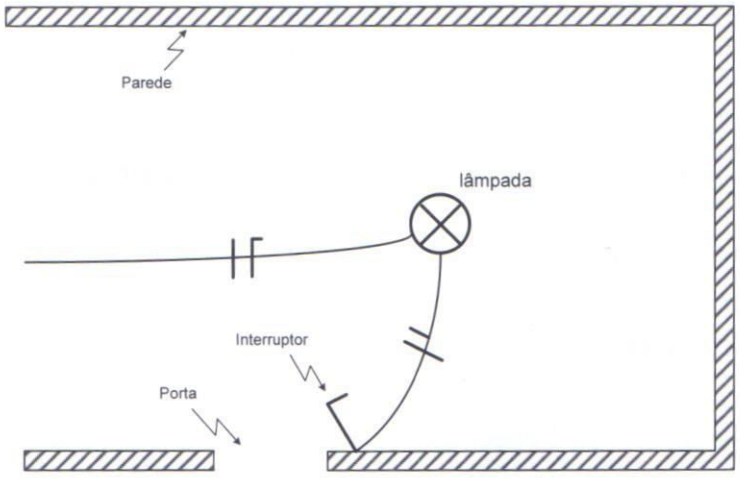



Figura 5.10.2 – Projeto elétrico do ponto de instalação de lâmpada incandescente

Onde os cabos (fios) são simbolizados por:

⇒ fio Fase, Neutro e Retorno

De acordo com o projeto, o instalador executa a fiação corretamente, só que não há detalhe de como a lâmpada incandescente deverá ser conectada no circuito. Deste modo, o eletricista sem conhecimento de segurança, executa a instalação da lâmpada, com a probabilidade de 50% de ser como o apresentado na figura 5.10.3.

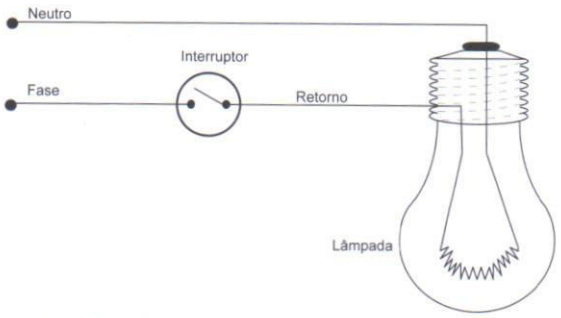



Figura 5.10.3 – Instalação insegura da lâmpada incandescente

Esta execução apresenta um alto potencial de risco à instalação e ao ser humano. Note-se que com o interruptor fechado, a rosca do receptáculo da lâmpada está com a mesma tensão da rede elétrica. Quando a lâmpada queima, isto é, o filamento incandescente se rompe, cessa a luminosidade da mesma. Nessa condição, com a lâmpada energizada, mas apagada, a situação de risco, decorre de:

- no momento da troca da lâmpada, se inadvertidamente a pessoa encostar na rosca receberá o choque;
- geralmente, com funcionamento diário o aquecimento dilata o bocal da lâmpada e trinca, neste caso, no momento da troca, a pessoa ao segurar o bocal, recebe o choque;
- na praia, a salinidade constante na umidade levada pelo vento, deposita sal ao redor da lâmpada. Ao tocar-se em qualquer parte do vidro da lâmpada, a pessoa sentirá o choque. Isto também acontece em regiões muito úmidas ou poluídas;
- nas luminárias metálicas, devido à salinidade ou poluição, haverá

Atualmente, existe um problema grave nas instalações elétricas das lâmpadas dicróicas de 12 volts. Isto porque nestas instalações não devem ser empregados:

- Autotransformador de 220/12 Volts (ler NOTA no item 5.22);
- Interruptor no lado secundário.

## 5.11 Geladeira

A figura 5.11.1 apresenta, esquematicamente, o circuito elétrico básico de uma geladeira ou *freezer*.

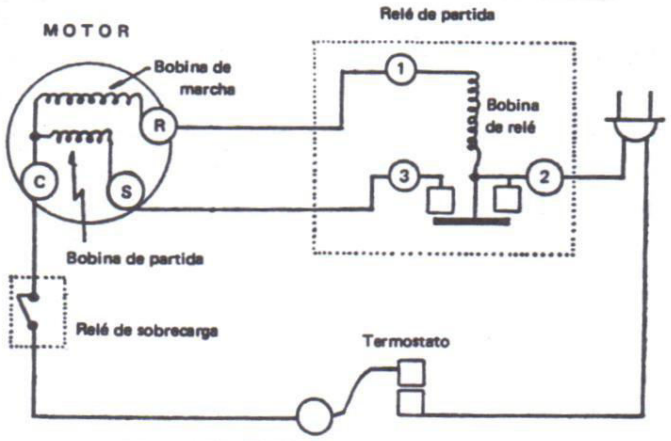



Figura 5.11.1 – Circuito elétrico da geladeira

O objetivo não é explicar o funcionamento da geladeira, mas apenas mostrar o modo seguro de efetuar a sua instalação na rede elétrica. Claro que toda parte metálica da geladeira deve ser aterrada.

A geladeira mantém uma temperatura baixa no seu interior, e este controle é feito por um termostato. O termostato controla automaticamente a temperatura interna, ligando e desligando o motor elétrico da geladeira.

Na figura 5.11.1, quando o termostato está aberto, a geladeira estará desligada. Portanto, para deixar sem tensão o maior circuito elétrico da geladeira, o neutro deverá ser o pino à direita no plugue. Deste modo, grande parte do circuito da geladeira ficará sem tensão, isto é, numa condição mais segura.

A identificação correta dos pinos, fase e neutro, deve ser feita pelo fabricante. Atualmente, em nosso país, esta prática não é executada. Existe ainda a agravante de as tomadas serem comuns, sem regras no modo da instalação. Os dois itens a seguir dão boas propostas para solucionar este problema. Nesse item, foi examinada a instalação da geladeira, mas esta prática é a mesma para todos os equipamentos elétricos, sejam residenciais, comerciais ou industriais.

## 5.12 Tomadas Simples e Tripolar

Todo equipamento elétrico monofásico tem sempre a posição correta dos fios fase e neutro a serem conectados na rede de energia elétrica, para que o funcionamento do equipamento opere de modo correto e seguro.

A tensão elétrica do equipamento é obtida através do plugue (macho) que recebe energia da tomada (fêmea). Portanto, para se obter a posição correta, os pinos do plugue, e os pontos receptores das tomadas deveriam estar identificados. Esta identificação poderia ser através de uma das alternativas a seguir, feitas respectivamente para os fios fase e neutro:

- secções (bitolas) diferentes;
- formas diferentes;
- sinalizados com cores diferentes;
- sinalizados com letras F e N.

Além das alternativas acima, deveria ser normalizada a maneira de instalar a tomada. Uma boa solução seria:

- tomada na horizontal, a esquerda o Fase e a direita o Neutro. Figura 5.12.1;
- tomada na vertical, o ponto receptor superior Fase e o inferior Neutro. Figura 5.12.1.

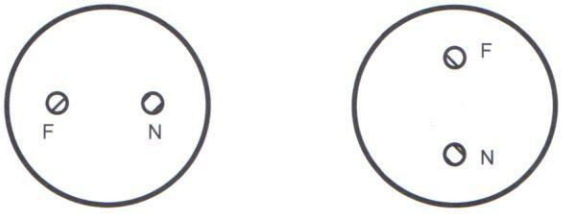



Figura 5.12.1 – Tomadas na horizontal e vertical

Esta denominação é a do observador, que vê a tomada de frente, como está indicando na figura 5.12.1.

A própria posição das letras não daria possibilidade de erro no momento da instalação. Para não gerar dúvidas, a sequência F-N, é a mesma do alfabeto. Com esta sinalização e modo de instalar, o plugue sempre seria conectado na posição correta, dando melhor condição de funcionalidade do equipamento elétrico e a segurança humana.

Nestas instalações, o fio terra (proteção) deve ir diretamente à carcaça do equipamento elétrico.

Outra precaução é fazer distanciamentos diferentes entre os pinos da tomada e plugue de acordo com o nível da tensão. Por exemplo, os pinos da tomada de 220V, seriam mais distanciados do que os de 110V. Isto evitaria a energização acidental e indevida de aparelhos com tensões nominais diferentes. Além dos distanciamentos dos pinos nas tomadas devem estar gravadas as tensões nominais.

O ato de se conectar o plugue na tomada é feito milhões de vezes ao dia. Esta ação é feita por pessoas leigas, que por displicência ou negligência executam a ação com risco de choque como indica a figura 5.12.2.

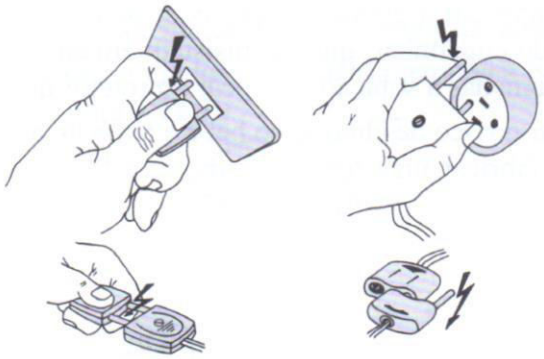


Figura 5.12.2 – Riscos de se conectar o plugue na tomada [39]

Esses riscos são decorrentes de não existir uma normalização, assim tem-se disponível no mercado vários tipos de tomadas e plugues.

Para atenuar os riscos relacionados com os da figura 5.12.2, podem ser construídos plugues e tomadas com formatos característicos privilegiando a segurança humana.

No plugue, por exemplo, a parte metálica do contato constitui só a

ponta do pino (baioneta). Ver figura 5.12.3.

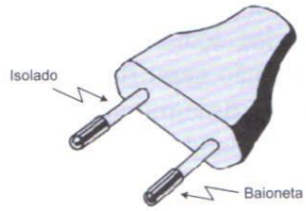



Figura 5.12.3 – Ponta metálica do pino do plugue [39]

Para maior segurança, as tomadas devem ter o encaixe rebaixado ou saliente. Ver figura 5.12.4.

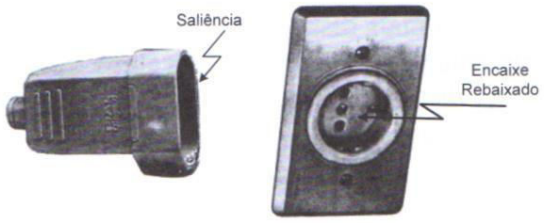



Figura 5.12.4 – Tomadas com encaixe embutido ou saliente [39]

Todos conhecem a grande aflição com os bebês, principalmente na sua intensa fase do engatinhar, quando insistem em enfiar o dedo no buraco da tomada. Nas tomadas a solução é colocar o protetor de tomada.

Para evitar o risco de choque no bebê e também a entrada de poeira e insetos, pode-se fabricar uma tomada com os orifícios bloqueados quando estiver sem o plugue [39]. Ver figura 5.12.5.

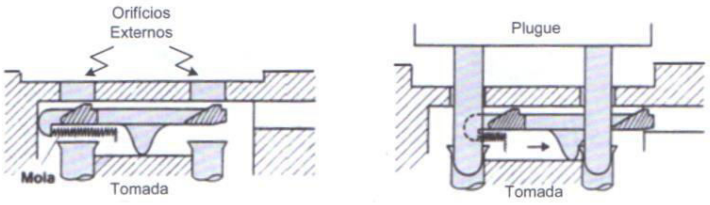



Figura 5.12.5 – Tomada com orifícios bloqueados

Note que, sem plugue, a mola fecha os orifícios da tomada. Quando o plugue é enfiado, o dispositivo em cunha desliza, abrindo o orifício e comprimindo a mola. Com a retirada do plugue a mola fecha os orifícios.

Caso o bebê queira enfiar um estilete (**c**) no orifício da tomada, a

proteção ocorre de acordo com a figura 5.12.6.

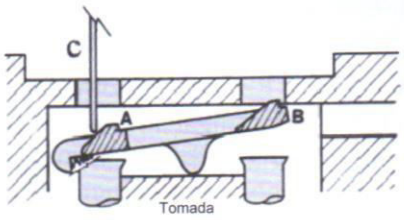



Figura 5.12.6 – Proteção a entradas estranhas

O dispositivo deslizante (**A-B**) inclina, a cunha **B** entra no orifício superior, bloqueando o deslizamento, protegendo o bebê do choque elétrico.

As tomadas tripolar que alimentam equipamentos monofásicos, tem a vantagem de ter posição única e bem definida. Em termos de segurança, a desvantagem é que não se tem certeza do contato elétrico do pino terra do plugue com o ponto de recepção terra da tomada tripolar. Este agravante se intensifica nas tomadas tripolar muito solicitadas, onde a perda do terra deixa o equipamento em condição insegura. Esta situação é a grande causadora de mortes nos exames invasivos dos equipamentos elétricos hospitalares. O termo "solicitadas", aqui significa equipamentos que trocam de lugar ou de tomadas, onde nunca tem-se a certeza da conexão dos terras.

A vantagem é que o modo de instalar já garante a posição correta da tomada tripolar. Ver figura 5.12.7.

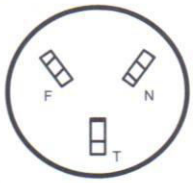



Figura 5.12.7 – Tomada tripolar

As letras teriam a mesma sequência do alfabeto. Os pinos do plugue tripolar deviam ter a sinalização de modo a se encaixar corretamente na tomada tripolar.

## 5.13 Tomada Padrão Brasileiro

Atualmente, devido a ter no comércio, todos os tipos de tomadas e

plugues impróprios e indefinidos, e para padronizar e regular o modo da instalação, privilegiando a posição correta e a segurança humana, foi desenvolvida a norma **NBR 14136**, que está em vigência.

A norma **NBR 14136**: Plugues e tomadas para uso doméstico e análogo até 20A, 250 VCA – Padronização estabelece 2 tipos de plugues e 5 tipos de tomadas nas correntes nominais de 10A e 20A.

Os plugues podem ser:

- 2P+T, para aparelhos classe **I** nas correntes de 10A e 20A;
- 2P para aparelhos classe **II** nas correntes de 10A e 20A.

As classes **I** e **II** referem-se à isolação dos materiais empregados no equipamento elétrico é são definida na norma **NBR 5410**.

As tomadas podem ser fabricadas com ou sem superfície protetora, utilizando encaixe com rebaixo com ou sem colarinho, mas seguintes versões:

- Tomada fixa de embutir;
- Tomada fixa semi-embutida;
- Tomada fixa de sobrepor;
- Tomada móvel.

Assim, a norma NBR 14136, que padronizou as tomadas quanto à segurança e modo de instalação. Segundo essa norma, o plugue hexagonal deverá ser de acordo com o da figura 5.13.1 [100].

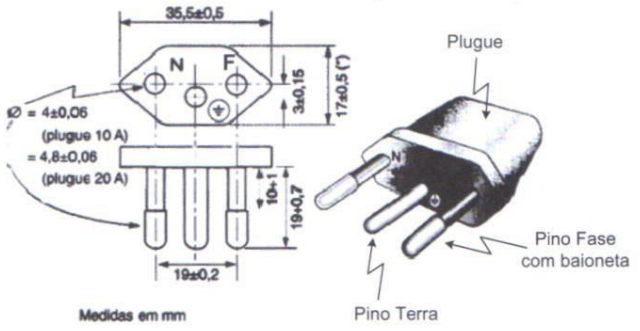



Figura 5.13.1 – Plugue de acordo com a **NBR 14136**

As tomadas e os orifícios para as correntes nominais de 10A e 20A estão apresentadas na figura 5.13.2.

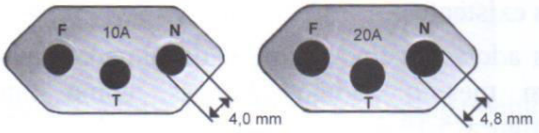



Figura 5.13.2 – Tomadas de 10A e 20A

O diâmetro do orifício diferencia a capacidade nominal da tomada de 10A e 20A. As tomadas hexagonal tem uma reentrância (encaixe, cavidade), com a seguinte finalidade:

- ☺ só entra plugue do mesmo perfil (sextavado e padronizado);
- ☺ aumenta a segurança em relação a choque elétrico;
- ☺ as posições da fase, neutro e terra estão definidas;
- ☺ com o plugue encaixado até o final, o contato elétrico se dá no final do pino de baioneta e a reentrância (saliência) garante a isolação elétrica;
- ☺ com o plugue encaixado até o final, mecanicamente fica firmemente mantido, evitando desconexão inadvertida;
- ☺ com o plugue encaixado até o final, fica vedada a entrada de poeira, insetos e umidade, preservando o contato elétrico e possíveis fugas de correntes.

A figura 5.13.3, mostra tomadas com as saliências (cavidades).

Figura 5.13.3 – Tomadas com saliências (cavidades)

Para aparelhos classe **II**, isto é, com dupla isolação, não é necessário o pino terra, assim o plugue só tem 2 pinos.

As tomadas apresentadas nesse item são de baixa tensão (de 220V) de uso geral enquanto que as de maiores capacidades e tensões, ainda

continua como as existentes.

Cada país adota um tipo (padrão) de tomadas, mas o importante é regulamentar um mesmo padrão. Apenas, como fator comparativo, apresenta-se na figura 5.13.4, tomadas padronizadas utilizadas em alguns países ou regiões.

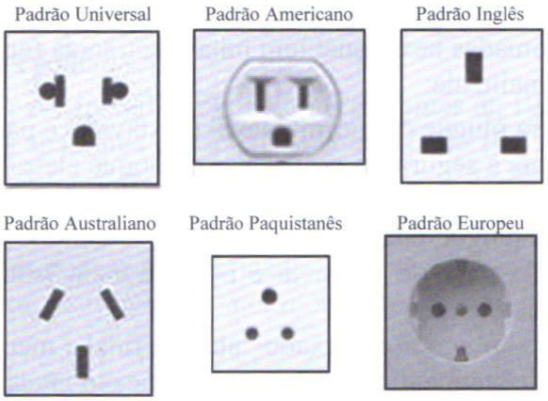



Figura 5.13.4 – Tomadas padronizadas

Essas tomadas são utilizadas em outros países, como apresentado na tabela 5.13.1.

| Tomadas Padrão | Número de Países |
|---|---|
| Universal | vários |
| Americano | 46 |
| Inglês | 41 |
| Australiano | 15 |
| Paquistanês | 39 |
| Europeu | 104 |

Tabela 5.13.1 – Tomadas utilizadas

Em viagem internacionais é conveniente levar um adaptador universal, que tem várias possibilidades de conexões das principais tomadas padronizadas existentes.

## 5.14 Chuveiro Elétrico

Na residência, o chuveiro elétrico é o equipamento de maior risco porque o choque elétrico ocorre no corpo humano com a pele na condição **BB3**. Este choque elétrico é violento, produzindo muitos acidentes fatais.

De acordo com as normas, na área do chuveiro, isto é, no *box*, não devem existir tomadas nem dispositivos de controle e manobras.

A mudança de temperatura nos chuveiros comumente utilizados é feita utilizando-se uma chave seccionadora do tipo faca, instalada na parte superior do chuveiro. Esta chave de manobra tem os seguintes problemas:

- ☹ não é adequada para operar sob carga;
- ☹ está posicionada na parte superior do chuveiro;
- ☹ está muito alta para o operador;
- ☹ está muito próxima (junto ao corpo) do chuveiro;
- ☹ geralmente é muito "dura";
- ☹ contraria a norma.

Muitas pessoas e com razão, têm receio em manobrar esta chave, e utilizam para tal, atitudes esdrúxulas, com o emprego de:

- ϟ cabo de vassoura;
- ϟ toalhas;
- ϟ chinelos;
- ϟ embalagem de shampoo;
- ϟ etc...

Muitas pessoas, por desconhecimento, efetuam a mudança de temperatura do banho com o chuveiro ligado, correndo sérios riscos de acidente, pois nessas condições a pele está molhada. Além de todos esses problemas, há ainda as instalações inadequadas de chuveiros elétricos.

## 5.15 Instalação do Chuveiro Elétrico

Apresentam-se a seguir algumas instalações mais comuns de chuveiros elétricos metálicos existentes nos banheiros.

**a) Instalação muito comum**

Essa instalação comum está apresentada na figura 5.15.1.

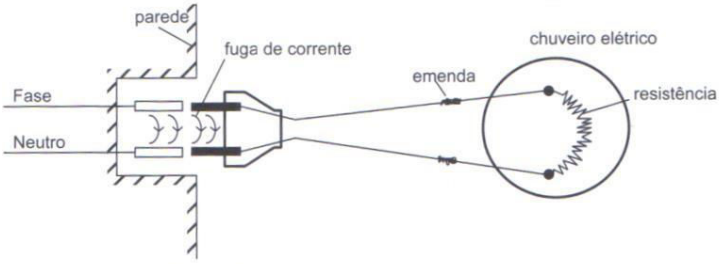



Figura 5.15.1 – Chuveiro elétrico: instalação muito comum

No esquema da figura 5.15.1 não está mostrada a chave de manobra. Apresentam-se a seguir os problemas inerentes à instalação da figura 5.15.1.

A excessiva umidade da área do *box* contamina as conexões do plugue na tomada. Nestas conexões, com o tempo, criam-se limos e fungos, possibilitando a fuga de corrente. Esta fuga ocorre mesmo com o chuveiro desligado. Cedo ou tarde, esta fuga de corrente pode propiciar um curto-circuito. Por este motivo, deve-se eliminar a tomada do chuveiro elétrico.

Atualmente os fabricantes constroem o chuveiro elétrico com um pedaço de fio muito curto, dificultando a realização de uma boa conexão (emenda). A fita isolante destas emendas, com o tempo, desprende e a forte umidade e o calor na área do *box* propicia a corrosão galvânica, prejudicando o contato elétrico, aumentando a resistência elétrica nas emendas. Essa elevação da resistência, além de consumir energia, produz queda de tensão, prejudicando o funcionamento do chuveiro elétrico. Uma boa prática é eliminar a emenda, isto é, o fio deve ir direto aos terminais da manopla interna do chuveiro.

Outro problema decorrente desta instalação é o defeito da quebra da isolação do fio fase dentro do chuveiro, energizando a carcaça metálica. Esta carcaça ficará energizada com a tensão da rede elétrica, deixando o chuveiro em situação de perigo. Um aterramento na carcaça do chuveiro eliminaria este problema, porque o defeito provocaria um curto-circuito e o disjuntor deste circuito abriria instantaneamente.

Em caso de o chuveiro pegar fogo, a solução adequada é desligar a energia elétrica, e deixar a água correndo normalmente para refrigerar e

apagar o equipamento. Neste caso, a dificuldade é desligar a energia elétrica do chuveiro, isto por que:

- ☹ a chave de manobra, está sob o chuveiro em chamas;
- ☹ o disjuntor do circuito do chuveiro está localizado no centro de distribuição, fora do banheiro.

**b) Instalação Comum**

Uma instalação um pouco melhorada é a do esquema apresentado na figura 5.15.2.

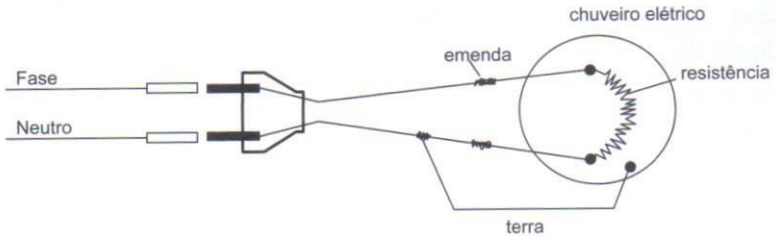



Figura 5.15.2 – Chuveiro elétrico, instalação comum

Essa instalação tem todos os problemas anteriores, apenas melhorou-se um pouco no aspecto de segurança relativo à falha interna na isolação do chuveiro. Que nesse caso, como o aterramento foi feito no fio neutro (instalação tipo TN-C), assim durante o defeito, a corrente de curto-circuito é elevada, obrigando o disjuntor abrir o circuito.

Essa instalação presenteou o usuário com alguns riscos adicionais. Um deste risco em potencial ocorre se inadvertidamente durante uma limpeza ou manutenção do chuveiro o plugue é virado, neste caso, energizando diretamente a carcaça. Outro risco ocorre se em algum lugar da instalação houver ruptura ou um mau contato do fio neutro, deixando a carcaça do chuveiro energizada com a mesma tensão da rede elétrica, isso só ocorre se a água estiver passando. Esse problema é típico de toda instalação do tipo TN-C.

**c) Instalação Um Pouco Melhor**

Para evitar o problema da possível virada do plugue do item anterior, que deixa a carcaça do chuveiro elétrico diretamente energizada, usa-se uma instalação mais conveniente e adequada, mostrada na figura 5.15.3.

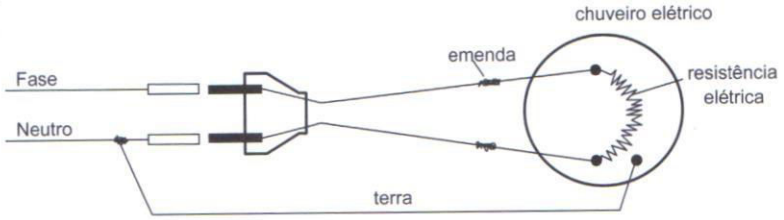



Figura 5.15.3 – Chuveiro elétrico: ligação um pouco melhor

Essa ligação elimina o problema do item anterior porque fica independente da posição do plugue na tomada.

No esquema da figura 5.15.3 a ligação do fio terra no fio neutro é feita logo atrás da tomada (instalação tipo TN-C-S).

**d) Instalação Melhor**

Todas as instalações apresentadas têm, além dos problemas já citados, e devido o fio terra ser ligado ao neutro, a agravante da carcaça do chuveiro elétrico ter a mesma tensão do neutro no ponto de ligação. Qualquer problema no fio neutro, oriundo do sistema, tais como tensão flutuante, harmônicas e transitórios, serão também, repassados à massa do chuveiro elétrico. Para contornar este problema, usa-se um fio terra independente. Ver figura 5.15.4.

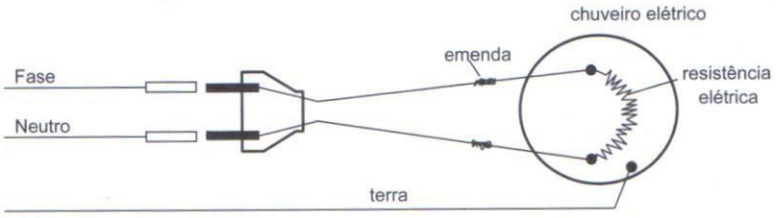



Figura 5.15.4 – Chuveiro elétrico: instalação melhor

Nesse caso, como o fio terra é independente, a carcaça do chuveiro elétrico, está imune das possíveis perturbações existente no fio neutro. Este tipo de instalação é denominado de TN-S. Qualquer projetista deve sempre optar pela instalação tipo TN-S, que confere maior segurança humana e

sensibilidade para a atuação da proteção.

Observação: Hoje a maioria dos chuveiros elétricos é fabricado com a carcaça de plástico, conferindo maior segurança ao usuário quando ao choque elétrico.

## 5.16 Chuveiros Elétricos com Resistências Blindadas

Os chuveiros dos itens anteriores têm a resistência elétrica imersa diretamente na água corrente do banho. O contato direto com a água facilita a transferência de calor, mas diminui a isolação elétrica, colocando em risco a segurança humana. Para aumentar a qualidade da segurança, usa-se blindar (isolar) a resistência elétrica do chuveiro do contato direto com a água. Com este objetivo fabrica-se o chuveiro blindado, isto é, a resistência elétrica esta envolta em material isolante, mas condutora de calor.

A resistência elétrica não entra em contato com a água, melhorando a qualidade da isolação, isto é, da segurança do usuário. A resistência blindada é mais complicada de construir, leva mais componente, portanto, é mais cara. Aliado a este fato, ainda há o agravante dos materiais isolantes serem geralmente maus condutores de calor, dificultando a transferência do calor para a água. A figura 5.16.1 mostra uma resistência blindada e a figura 5.16.2 um chuveiro elétrico com resistência blindada.

Figura 5.16.1 – Resistência blindada

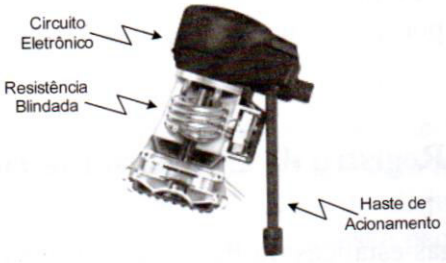



Figura 5.16.2 – Chuveiro elétrico (Corona) com resistência blindada

## 5.17 Chuveiros com Comandos Eletrônicos

São os chuveiros elétricos que por meio de um controle eletrônico se regula (ajusta) a temperatura da água do banho. Praticamente, os chuveiros com controle eletrônico atuam no ângulo de disparo da onda senoidal da tensão de alimentação da resistência elétrica. Neste caso, a chave manual de manobra do chuveiro elétrico fica desativada (desnecessária), melhorando-se a segurança, pois o comando passa para o controle eletrônico. A segurança é muito melhorada porque a ação da manobra de controle é feita através de um dispositivo ou uma comprida haste de silicone, que é um material isolante. Deste modo o usuário regula a temperatura do chuveiro em funcionamento com total segurança. A figura 5.17.1 mostra um típico chuveiro elétrico com comando eletrônico cuja regulagem é feita na haste de acionamento.

Figura 5.17.1 – Chuveiro elétrico com comando eletrônico

O grande problema do chuveiro elétrico com controle de temperatura através de comando eletrônico é a significativa distorção da onda senoidal, gerando harmônicas contaminando a rede de energia elétrica. Essa é a típica carga não linear. Mas esse problema é gerado somente durante o tempo de uso do chuveiro. O circuito do chuveiro elétrico é de alta demanda, mas considerado ocioso, por que a sua utilização é ínfima durante a duração do dia.

## 5.18 Choque no Registro do Chuveiro Elétrico

Todas as cargas estáticas ou fugas de corrente obtidas na carcaça do chuveiro são coletadas e enviadas a terra pelo sistema de aterramento. Mas

quando o aterramento é precário ou o mesmo não existe, e as instalações são do tipo das figuras 5.14.1, 5.14.2 ou 5.14.3, e principalmente em regiões de água salobra ou de praias, percebe-se pequenos choques elétricos na manopla ou registro do chuveiro elétrico. Isto porque, com o decorrer do tempo, forma-se dentro e no fundo do cano de PVC um depósito em forma de trilho, por onde se dá a fuga de corrente, energizando o registro. Esse depósito é formado pela sujeira e sais contidos na água. Ver figura 5.18.1.

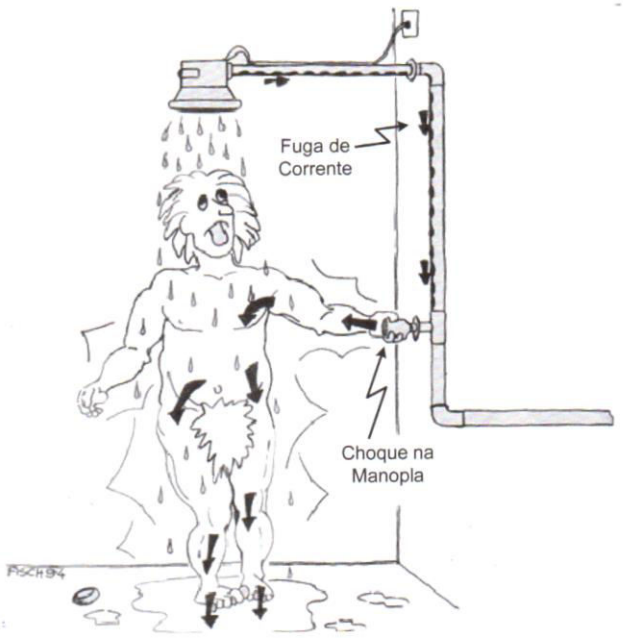



Figura 5.18.1 – Choque no registro de chuveiro elétrico

A percepção do choque no registro é maior devido à pele humana estar molhada, isto é, na condição **BB3**.

## 5.19 Diferenciais-Residuais (DRs)

Os disjuntores termomagnéticos comumente usados na instalação elétrica são próprios para a proteção do circuito com respeito à sobrecarga e curto-circuito. O dispositivo sensor dentro do disjuntor é térmico e de sobrecorrente. As correntes de choque elétrico são pequenas, bem abaixo da corrente de atuação do disjuntor, portanto, a corrente de choque não produz

sensibilidade para a atuação do sensor do disjuntor, e o mesmo não opera. Portanto, o disjuntor comum termomagnético é um dispositivo para proteger o patrimônio, contra sobrecarga e curto-circuito e não a pessoa contra choque elétrico.

Com o objetivo de prover a segurança humana ao choque elétrico, foi desenvolvido o "Dispositivo Diferencial Residual (**DR**)", que incorpora um dispositivo de abertura do circuito juntamente com um dispositivo de proteção com sensibilidade para detectar corrente de pequena intensidade. O Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) abre o circuito quando a corrente que foge do circuito protegido é maior que o valor ajustado no seu sensor.

A atuação do Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) baseia-se no princípio do funcionamento do relé diferencial, ou seja, na operação normal a corrente de entrada e saída dever ser a mesma, caso contrário, existe fuga de corrente e o aparelho atua abrindo o circuito.

O circuito esquemático do Dispositivo Diferencial Residual (**DR**), protegendo fugas de corrente em uma casa, é mostrado na figura 5.19.1.

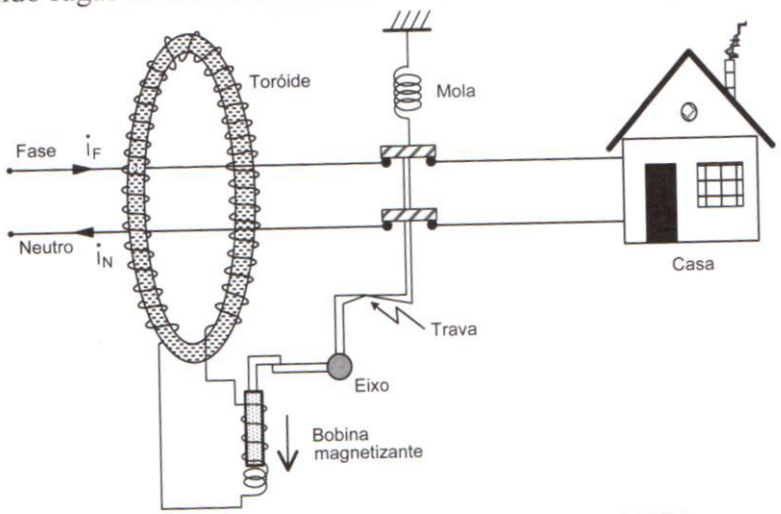



Figura 5.19.1 – Dispositivo Diferencial Residual (**DR**)

O princípio de funcionamento é simples. Todo condutor percorrido por corrente elétrica gera um campo magnético ao seu redor. O sentido do campo magnético é dado pela regra da mão direita: o dedo polegar aponta o sentido da corrente e os demais dedos dão o sentido do campo magnético. Ver figura 5.19.2.

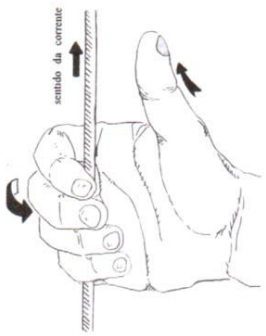



Figura 5.19.2 – Regra da mão direita

Como os condutores fase e neutro estão colocados lado a lado dentro do toróide de material ferromagnético da figura 5.19.1, na operação normal, sem fuga de corrente, os campos magnéticos gerados são iguais, mas de sentidos contrários, anulando-se o campo magnético resultante. Ver figura 5.19.3.

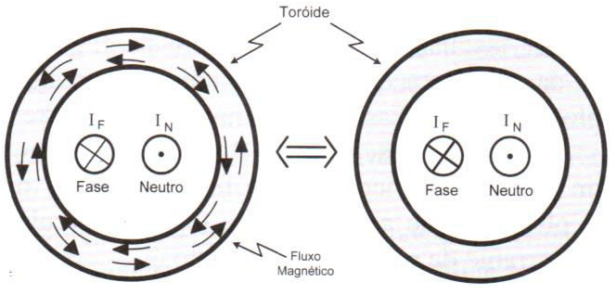



Figura 5.19.3 – Fluxo magnético resultante nulo

O fluxo magnético resultante dentro do toróide é nulo, deixando inativo o Dispositivo Diferencial Residual (**DR**).

O Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) opera instantaneamente quando a diferença entre as correntes de entrada e saída satisfizerem a inequação 5.19.1.

$$I_{fase} - I_{neutro} \geq I\Delta_N = 30mA \qquad (5.19.1)$$

Onde:

$I\Delta_N \rightarrow$ é a corrente de atuação do **DR**

Neste caso, essa diferença de corrente produz um fluxo resultante,

que induz uma tensão elétrica na bobina que envolve o toróide. Essa tensão induzida cria uma corrente elétrica que passa pela bobina magnetizante do eletroímã. O êmbolo do eletroímã é engolido, destravando o dispositivo da TRAVA, a mola tensionada é liberada, abrindo violentamente os contatos, desativando o circuito.

Essa diferença de corrente é oriunda de um defeito na isolação de equipamentos ou devido a um choque elétrico acidental. Por exemplo, em um choque elétrico, a corrente segue o seguinte percurso: do circuito ao corpo humano, vai a terra até o ponto de aterramento e retorna fechando o circuito. Esta corrente de choque não passa por dentro do toróide. Se seu valor for maior que 30mA, o Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) opera, desligando o circuito.

Existem comercialmente vários **DRs** com valores distintos de $I\Delta_N$. Os **DRs** com valores de $I\Delta_N \leq 30\,mA$ são conhecidos como **DRs** de alta sensibilidade.

Em qualquer instalação elétrica, sempre há fuga de corrente pela própria isolação da cablagem e pelas capacitâncias parasitas do circuito e dos equipamentos elétricos. Essas fugas naturais de correntes são muito pequenas, sem condições de acionar o Dispositivo Diferencial Residual (**DR**). Mas num circuito elétrico em que foi instalado o dispositivo **DR**, deve-se sempre observar que a corrente de fuga do circuito não deve ser maior que 1/3 da corrente de atuação do **DR**. Isto é:

$$I_{fuga} < \frac{1}{3} I\Delta_N$$

Geralmente a instalação de um chuveiro elétrico metálico tem problema, porque a fuga de corrente é maior que o da operação do Dispositivo Diferencial Residual (**DR**). Neste caso, ao ligar o chuveiro elétrico o Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) opera desarmando o circuito. Um modo de contornar este problema é usar um chuveiro com resistência blindada ou utilizar o esquema apresentado na figura 5.19.4.

Note-se que no caso do esquema da figura 5.19.4, o Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) não opera porque o fluxo magnético resultante no toróide é nulo, isto porque as correntes satisfazem a expressão 5.19.2.

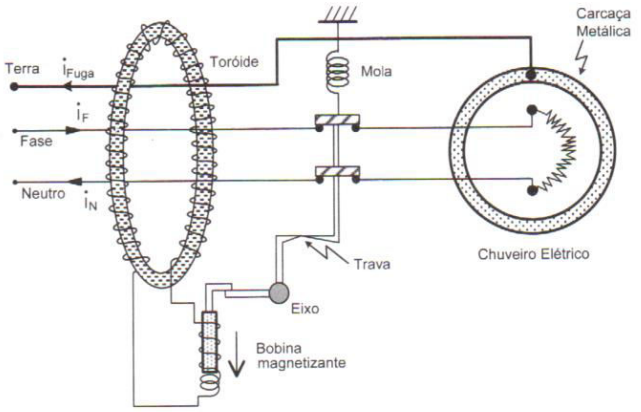



Figura 5.19.4 – Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) x chuveiro elétrico

$$\dot{I}_{fase} = \dot{I}_{neutro} + \dot{I}_{fuga} \qquad (5.19.2)$$

A corrente de fuga é obrigada a passar por dentro do núcleo do toróide, compensando a diferença da corrente entre o fio fase e o fio neutro.

No esquema do Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) apresentado na figura 5.19.1, a energia para desativar a trava é proveniente da corrente diferencial, ou seja, da corrente de fuga mais a corrente de desvio do circuito. Por este motivo, este Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) é conhecido como de atuação direta.

Para melhorar a sensibilidade do dispositivo acima, pode-se utilizar um Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) de atuação indireta, como por exemplo, o da figura 5.19.5.

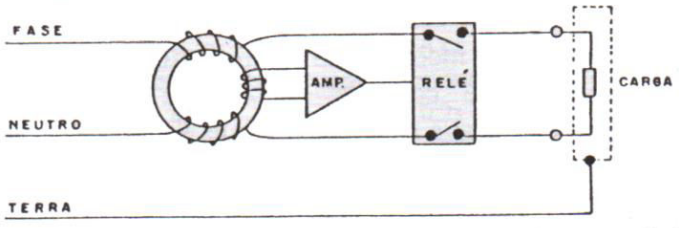



Figura 5.19.5 – Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) de atuação indireta

Esse Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) tem mais sensibilidade porque o fluxo magnético proveniente da fuga de corrente induz uma pequena tensão elétrica na bobina enrolada no toróide. O sinal da bobina é então amplificado por um circuito externo, que aciona o dispositivo de

destravamento da mola de acionamento da abertura do circuito. Esse DR tem sensibilidade menor que 30mA, geralmente ajustado para 5mA.

O Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) apresentado na figura 5.19.5 é de alta sensibilidade, sendo usado em detecção de fuga de corrente em aparelhos hospitalares.

O Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) pode também, ser utilizado em circuitos elétricos trifásicos a 3 fios ou a 4 fios.

Note-se que, em ambos os casos, se o choque elétrico for derivado e restrito a duas fases, o Dispositivo Diferencial Residual (**DR**) não opera.

Finalmente, no funcionamento do **DR**, deve-se observar que:

$$I_{choque} < \frac{1}{2} I\Delta_N \rightarrow \text{o DR não atua}$$

$$\frac{1}{2} I\Delta_N \leq I_{choque} < I\Delta_N \rightarrow \text{o DR pode atuar}$$

$$I_{choque} \geq I\Delta_N \rightarrow \text{o DR atua}$$

O dispositivo diferencial residual (**DR**) pode fazer diretamente ou indiretamente o seccionamento (abertura) do circuito protegido, deste modo no mercado está disponível os seguintes dispositivos:

- Interruptor Diferencial Residual. Nesse caso quando ocorre fuga de corrente elétrica ou choque elétrico o Interruptor Diferencial Residual faz diretamente o seccionamento do circuito;

- Dispositivo **DR** incorporado a um disjuntor. Nesse caso quando ocorre fuga de corrente ou choque elétrico, o **DR** atua destravando a trava do disjuntor que abre o circuito. Note que o **DR** atua no seccionamento do circuito de modo indireto;

- **DR** acoplado ao disjuntor. O **DR** é fabricado em módulo separado do disjuntor. Na instalação os 2 módulos (**DR** e disjuntor) devem ficar juntos (acoplados) de modo que a haste de acionamento do **DR** deve entrar no orifício que contém a trava do disjuntor. Na ocorrência de fuga de corrente ou choque elétrico o **DR** atua, fazendo sua haste se mover destravando a

trava do disjuntor que está ao seu lado. O disjuntor promove o seccionamento (abertura) do circuito. Neste caso o **DR** atua de modo indireto no seccionamento do circuito;

- Interruptor **DR** incorporado à tomada.

A figura 5.19.6 mostra um **DR** de um fabricante de equipamentos elétricos.

Figura 5.19.6 – **DR** do fabricante Schneider

O tempo de atuação para abrir um circuito depende a quando a corrente de fuga é maior que o seu ajuste $I\Delta_N$. A tabela 5.19.1 mostra os tempos de atuação do DR, que também está representada na curva da figura 5.19.7.

| Valor do $I_{DR}$ | Tempo de atuação |
|---|---|
| $I_{DR} = I\Delta_N$ | 0,5s |
| $I_{DR} = 2I\Delta_N$ | 0,2s |
| $I_{DR} = 5I\Delta_N$ | 0,04s |
| $I_{DR} = 10I\Delta_N$ | 0,03s |

Tabela 5.19.1 – Tempo de atuação dos DRs (conforme IEC)

A atual **NBR 5410** estabelece o uso de **DRs** com $I\Delta_N = 30mA$, nas residenciais, nos seguintes locais: circuitos do banheiro, cozinha, copa-cozinha, lavanderias, áreas de serviço, garagens, locais comumente

molhados, e em todos os circuitos em áreas externas a edificação.

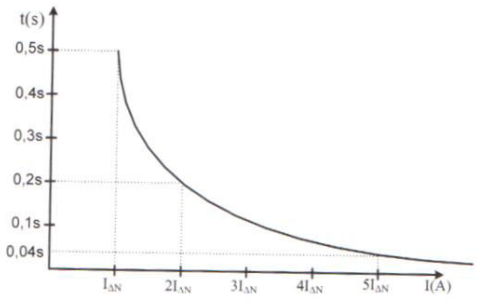



Figura 5.19.7 – Curva de atuação dos DRs

## 5.20 Holofotes e Postes Metálicos Ornamentais

Cuidados especiais devem ser tomados em relação a equipamentos metálicos elétricos que ficam expostos ao tempo e ao alcance de pessoas, principalmente crianças. As suas partes metálicas (massas, carcaças) devem ter um bom aterramento elétrico e a conexão do cabo de ligação à massa deve ter bom contato e ser vedado com material emborrachado, para evitar corrosões.

Não atendendo às recomendações anteriores e não fazendo manutenção, estas carcaças expostas ao tempo, tornam-se elementos de alto risco, principalmente durante as chuvas. Na prática, estas situações de risco são apresentadas por equipamentos do tipo:

- holofotes;
- postes metálicos de jardins;
- postes metálicos de praças públicas e ruas;
- postes metálicos na área de piscinas.

Portanto, por precaução, recomenda-se não tocar nestes equipamentos, principalmente nos dias de chuva.

## 5.21 Cortador de Grama

Outro equipamento caseiro de alto risco é o cortador de grama. Esse deve ser manuseado com todo cuidado porque facilmente pode produzir

situações de alto risco devido principalmente, a vários agravantes que são:

- fio flexível;
- fio longo;
- o equipamento é móvel e pesado;
- fio estendido no chão;
- uso de várias extensões conectadas por tomada e plugue inadequados;
- o fio, por descuido, geralmente é pisoteado;
- o carro do cortador de grama passa por sobre os fios;
- grama molhada ou úmida;
- a lâmina do cortador gira e atira pequenas pedras em alta velocidade;
- o operador sem os equipamentos de proteção individual.

Geralmente, o fio é danificado, produzindo riscos fatais. Ver figura 5.21.1.

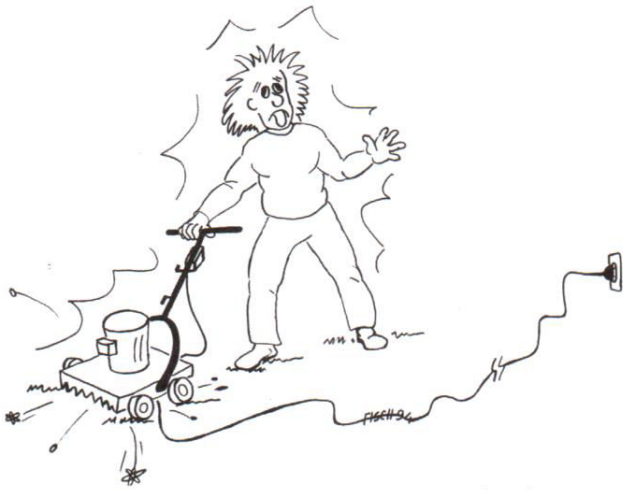


Figura 5.21.1 – Risco no manuseio do cortador de grama

## 5.22 Botão da Campainha

O Botão de Campainha (pulsador), colocado no portão ou muro, quando molhado, produz, em geral risco de choque elétrico. O botão de

campainha, sendo muito manobrado, danifica-se e, exposto à chuva, produz fuga de corrente e consequentemente perigo de choque elétrico.

A maneira de contornar o problema é utilizar uma das alternativas:

- botão da campainha abrigado da chuva;
- botão da campainha blindado (lacrado);
- transformador abaixador para alimentar uma campainha de menor tensão, por exemplo de 12 Volts;
  NOTA: Neste caso não se deve utilizar autotransformador, porque se houver rompimento (abertura) na bobina comum primária e secundária a tensão da rede será integralmente repassada ao circuito secundário.
- botão de acionamento de um dispositivo isolado alimentado a pilha ou a bateria, que atua remotamente (sem fio) na campainha;
- botão da campainha comum, energizado por circuito isolado da terra. Ver figura 5.22.1.

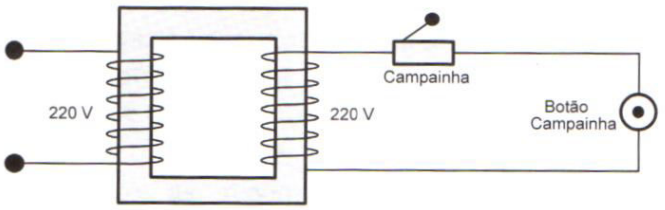



Figura 5.22.1 – Circuito secundário isolado do circuito primário do transformador

Usa-se um pequeno transformador com relação 1:1. No secundário instala-se o circuito da campainha elétrica. Neste esquema, o defeito no botão não produzirá fuga de corrente à terra e nem risco ao usuário.

## 5.23 Cercas Metálicas

Cercas metálicas de grande extensão devem ser aterradas em vários pontos. Esta precaução deve-se a possibilidade de energização acidental devido a:

- tensão induzidas ou queda direta de raios;
- queda de fios ou cabos da rede de energia elétrica, figura 5.23.1;
- outros contatos de qualquer natureza.

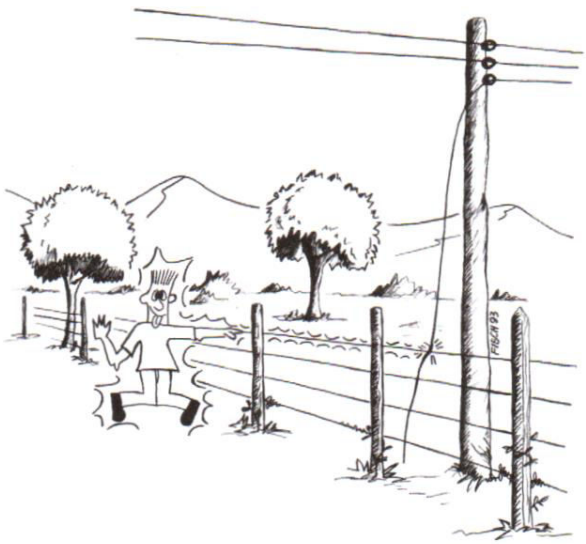


Figura 5.23.1 – Acidente (choque elétrico) na cerca

Cercas de arame farpado longas devem ser aterradas em vários pontos. As que transpassam redes de energia elétrica devem ser seccionadas e aterradas como indica a figura 5.23.2.

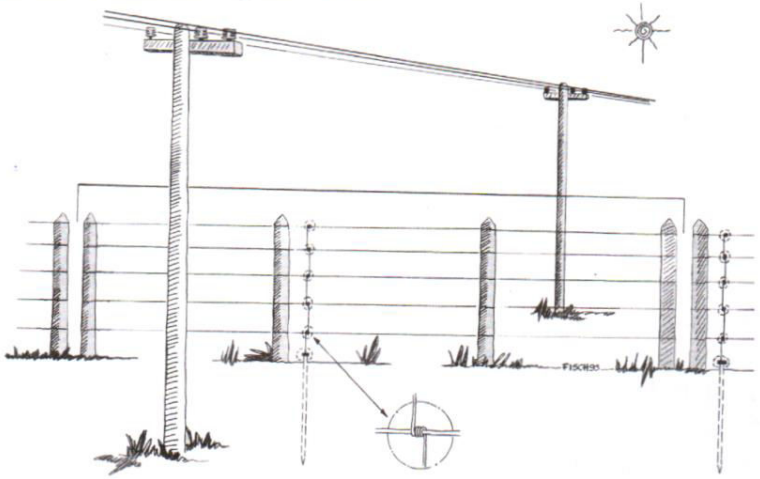


Figura 5.23.2 – Seccionamento da cerca

Todas as conexões, como indica o detalhe na figura 5.23.2, devem ser cobertas com material emborrachado, para evitar a corrosão.

O seccionamento da cerca pode ser feito utilizando-se dois moirões (figura 5.23.2) ou através de seccionadores pré-fabricados.

A separação através de seccionadores pré-fabricados está apresentada na figura 5.23.3.

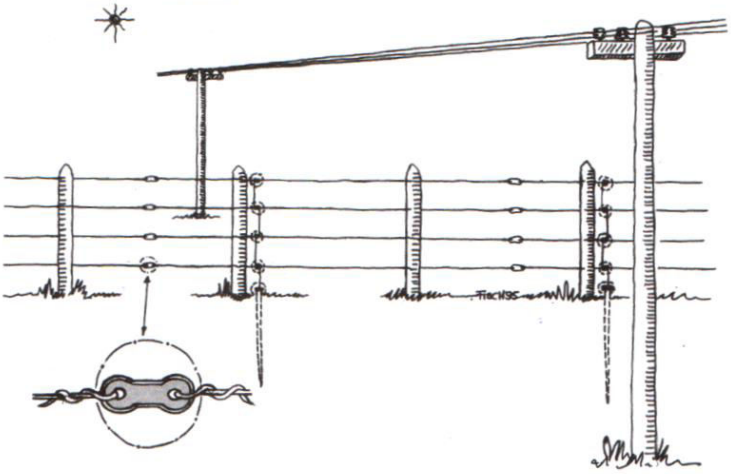


Figura 5.23.3 – Seccionadores pré-fabricados

Se estas providências não forem tomadas, qualquer contato elétrico acidental energizará toda a cerca metálica, colocando em risco a segurança humana.

## 5.24 Ferro Elétrico

O ferro elétrico é, também, um aparelho de alto risco. O risco deve-se principalmente às suas características próprias e defeitos de operação:

- aparelho móvel, isto é, sua operação exige movimentos em várias direções e posições;
- aparelho pesado;
- aparelho com grande área metálica;
- alta temperatura (quente);
- fio flexível;
- sem fio terra.

Devido às características supracitadas, o ferro elétrico torna-se um aparelho de operação delicada e de extremo cuidado.

Além do risco do choque elétrico, o ferro elétrico, devido às suas características, produz riscos adicionais, que são:

- queimaduras;
- ferimentos devido a queda do ferro elétrico;
- princípio de incêndio.

## 5.25 Fios Flexíveis

Fios flexíveis são utilizados em equipamentos elétricos móveis e portáteis. Devem-se distinguir os equipamentos móveis em duas categorias:

- ✓ equipamentos elétricos móveis com operação estática. Por exemplo: geladeiras, máquina de lavar roupa, etc;
- ✓ equipamento elétrico móvel com operação em movimento. Por exemplo: ferros elétricos, cortadores de grama, barbeador elétrico, ferramentas portáteis, etc.

Os equipamentos com operação em movimento são mais susceptíveis aos riscos devido à ruptura do isolamento do fio flexível. Esta ruptura na isolação é provocada por:

- ⊠ movimento constante do aparelho;
- ⊠ operação inadequada do aparelho;
- ⊠ danos mecânicos no fio flexível.

O fio flexível já produziu muitos acidentes fatais, principalmente no cortador de gramas e nas betoneiras utilizadas na construção de casas.

## 5.26 Fios Caídos

Cuidado especial deve-se ter com fios da rede de energia elétrica caídos no chão, ou fios de qualquer natureza fora de seu devido lugar. Apesar de não se saber se o fio está com ou sem tensão, as respectivas precauções de segurança são as mesmas relativas aos fios energizados. Os cuidados devem ser redobrados se for dia chuvoso, ou se o fio caído estiver dentro d'água.

Os fios podem cair sobre estrutura metálica, energizando uma grande

área, ampliando o risco do choque elétrico. Daí a necessidade de aterrar qualquer massa metálica de grande porte, mesmo de natureza não elétrica.

## 5.27 Poda ou Corte de Árvores

Com o crescimento, os galhos das árvores alcançam e transpõem os cabos da rede de energia elétrica. Esta situação prejudica a rede de energia elétrica porque podem provocar curtos-circuitos e colocar em risco a segurança humana. Portanto, vistorias constantes devem ser efetuadas, com o objetivo de levantar as situações de risco, de modo a planejar adequadamente a execução das podas ou corte das árvores. Este trabalho deve ser feito adequadamente porque a poda ou corte de árvores já provocaram muitos acidentes de origem elétrica. O corte inadequado de galhos pode provocar movimentos ou ruptura do cabo da rede de energia elétrica, originando diversas possibilidades de riscos.

A figura 5.27.1 apresenta o corte inadequado: a árvore cai do lado errado, derrubando a rede de energia elétrica.

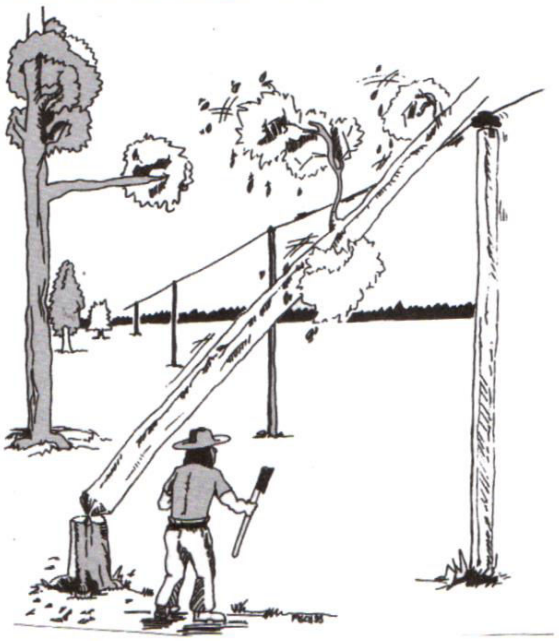


Figura 5.27.1 – Corte errado de árvore

Para evitar estes problemas, o ideal é plantar árvores de espécies adequadas, cujos portes não venham a alcançar a rede de energia elétrica.

## 5.28 Antena de TV ou Rádio

Muitos acidentes ocorreram durante a instalação da antena de TV ou de antena parabólicas.

Primeiramente, a antena de TV é montada no chão, depois içada e instalada (chumbada ou aparafusada) em cima da edificação. Durante a execução deste trabalho, inadvertidamente, por acidente ou negligência, a antena de TV pode tocar na rede de energia elétrica da concessionária, provocando geralmente acidentes fatais. Este acidente é propiciado, pelo fato de o trabalho de içamento e instalação serem de difícil execução.

Estas dificuldades são provocadas devido a:

- antena de TV ser condutora;
- antena de TV ser grande;
- altura da edificação;
- telhado inclinado;
- vento;
- peso da estrutura antena/suporte;
- altura da antena/suporte.

A figura 5.28.1 mostra o acidente elétrico típico durante a instalação de antena de TV.

## 5.29 Canteiros de Obra

Nos canteiros de obras, as instalações são provisórias e, por este motivo, devem ser baratas, leves e removíveis.

As instalações elétricas são geralmente executadas às pressas, com objetivos funcionais, sem levar em consideração rígidos critérios de segurança.

A própria característica do canteiro de obra leva a diversas situações de riscos devidos principalmente a:

Figura 5.28.1 – Acidente na instalação de antena de TV

- serem instalações provisórias;
- material empregado de baixa qualidade;
- serem instalações removíveis;
- circulação intensa de pessoas;
- muita rotatividade de obreiros;
- obreiros sem qualificação;
- muita movimentação de materiais;
- muita rotatividade e movimento de equipamentos;
- muito pó e umidade;
- espaço restrito e apertado;
- etc...

A grande vilã em risco ao choque elétrico é, sem dúvida, a betoneira. O trabalho intenso e pesado desenvolvido pela betoneira, juntamente com água e cimento, propicia o risco de choque elétrico. A instalação, operação, vistoria e manutenções adequadas, são necessidades fundamentais no uso da betoneira. Devido às características acima, sempre haverá danos na fiação

elétrica, produzindo risco imediato ou a posteriori.

Outro agravante, é que durante a construção de um prédio, o mesmo está sem proteção contra descargas atmosféricas. O pára-raios e o sistema de proteção só serão instalados quando a obra estiver concluída.

## 5.30 Crianças

Deve-se, desde cedo, orientar as crianças quanto aos riscos do choque elétrico. As mesmas devem ficar afastadas das fiações elétricas, não brincar com equipamentos elétricos, principalmente quando energizados por uma fonte externa. Nunca colocar o dedo, água ou objetos dentro de equipamentos elétricos. Ou, colocar equipamentos elétricos dentro d'água.

Alguns acidentes ocorrem quando crianças sobem em estruturas, torres ou postes pertencentes à rede de energia elétrica. Figura 5.30.1.

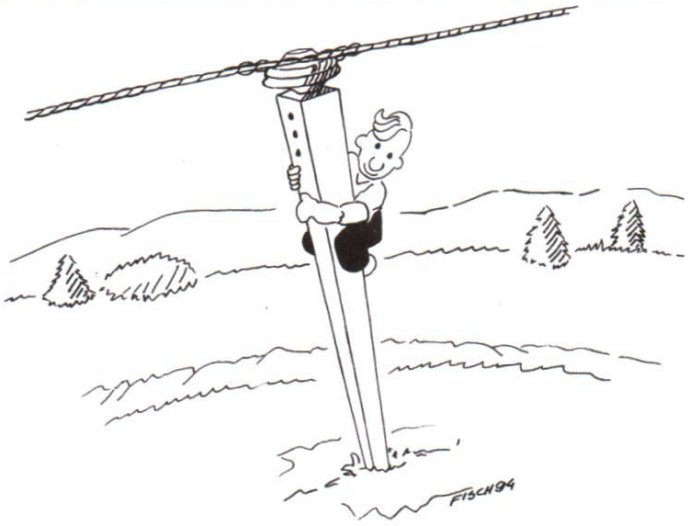



Figura 5.30.1 – Criança subindo no poste

Outra prática intensamente utilizada pelas crianças é a brincadeira com pipas, figura 5.30.2, que produz riscos para as crianças e vários transtornos a Companhia de Energia Elétrica.

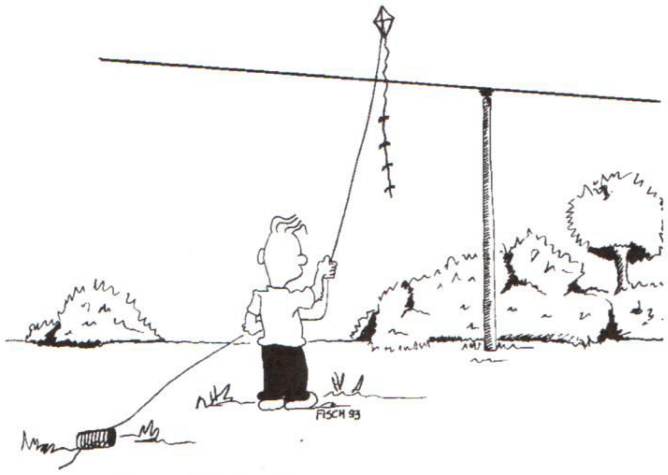



Figura 5.30.2 – Criança brincando com pipa

## 5.31 Bolas de Sinalização

São bolas de 50 a 60cm de diâmetro, na cor alaranjada, colocadas no cabo de cobertura (pára-raios) da linha de transmissão, para evidenciar a sinalização de advertência da existência de uma linha de transmissão no local. A visão do alto em direção ao solo, a linha de transmissão fica quase invisível. Portanto, a cor da bola de sinalização adverte a existência no local de uma linha de transmissão. Essa sinalização é para os:

- aviões;
- helicópteros;
- asa delta;
- baloeiros;
- parapentes;
- paraquedistas;
- Etc...

Note que durante uma emergência, em que há necessidade de se fazer um pouso forçado, a bola de sinalização indica não só a existência da linha de transmissão como, também, de qualquer outro cabo de aço estendido aereamente no local. Assim, tenta-se evitar colisões com o cabo aéreo durante o pouso de emergência.

Essas bolas devem ser colocadas próximas a:

- aeroportos;
- aeroclubes;
- áreas de treinamento, prática e competição de voo livres;
- travessias de rodovias;
- travessias de rios, lagos; lagunas, enseadas;
- travessias de vales;
- entre morros, etc....

A figura 5.31.1 mostra uma linha de transmissão com bolas de sinalização.

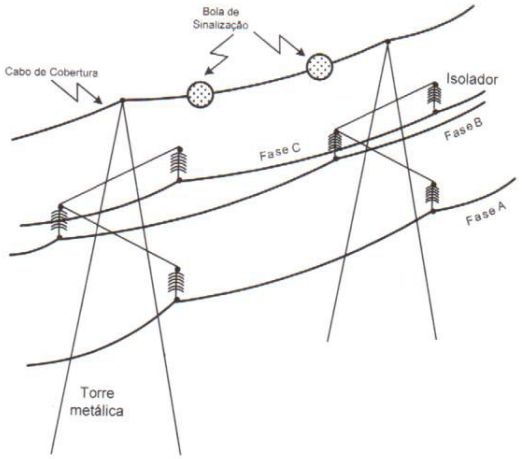



Figura 5.31.3 – Bola de sinalização

## 5.32 Considerações Finais

Não se pretendeu neste capítulo abordar todas as possibilidades de riscos de choque elétrico em equipamentos ou instalações elétricas. As análises aqui efetuadas dão uma base que fundamenta e se estende por similaridade às demais situações, devendo-se ter em mente que:

**Todo equipamento elétrico é perigoso. Portanto, deve-se fazer uma análise criteriosa de modo a levantar os locais de possíveis riscos e tentar neutralizá-los.**

Os riscos relativos a eletricidade são inesperados e estão presentes nas instalações próprias de energia elétrica e inclusive em equipamentos ou estruturas sem eletricidade.

Apenas para citar como referência dos riscos mais salientes, elenca-se alguns, tais como:

- uso de geradores de emergência portáteis de pequeno porte, que pode energizar pela baixa tensão a rede da concessionária;
- caminhões, carretas, caçambas, tratores, no transporte de materiais tocando a rede elétrica da concessionária;
- carros alegóricos ou trios elétricos tocando um cabo energizado ou a rede elétrica da concessionária;
- bombas d'águas em geral, inclusive as submersas;
- instalações temporárias de ornamentos festivos, aniversários, casamentos, natal e final de ano;
- cercas elétricas;
- lançamentos de balões e fogos de artifício em eventos festivos;
- ambientes inundados;
- letreiros luminosos;
- parques de diversões em geral;
- etc....

# Capítulo VI

# Riscos em Equipamentos Hospitalares

## 6.1 Introdução

O avanço da medicina deve-se muito ao assessoramento dos equipamentos elétricos. Além da energia elétrica consumida pelos hospitais, a mesma, através de equipamentos especiais, produz vários benefícios de monitoramento, análise e tratamento, de modo a aprimorar o diagnóstico, procedimentos dos médicos e mantenimento da vida.

Com os benefícios, técnicas foram aprimoradas e a medicina pôde avançar, desvendando mais o conhecimento sobre o funcionamento e a saúde do corpo humano.

Os equipamentos elétricos trouxeram muitos benefícios, mas

também, todos os riscos inerentes ao choque elétrico, produzido por vazamento de corrente devido, principalmente, à falha na isolação elétrica do equipamento, juntamente com a baixa qualidade do aterramento.

Os choques elétricos em pacientes hospitalares são de altíssimo risco, por que:

- a pessoa está debilitada fisicamente;
- a pessoa está debilitada psiquicamente;
- o choque é invasivo, ou seja originasse dentro do corpo.

As pessoas debilitadas física ou psicologicamente suportam menos ao choque elétrico. Os choques elétricos nos hospitais ou em exames médicos são geralmente ocasionados durante exames invasivos ou em cirurgias.

Choques internos no corpo humano são de altíssimo risco devido à densidade de corrente ser grande junto ao órgão lesado. Se, por exemplo, ocorrer um vazamento de corrente no cateter dentro do coração, a fibrilação ventricular é praticamente certa. Nesse capítulo analisam-se os principais equipamentos médicos hospitalares utilizados no corpo humano.

## 6.2 Densidade de Corrente no Micro Choque

Como definido no item 1.6, o choque interno no corpo humano é denominado de micro choque, e pequenas tensões elétricas produzem riscos elevados.

Qualquer elemento condutor invasivo no corpo humano pode produzir micro choque. Como a resistência elétrica da pele não está limitando a corrente elétrica do choque, pequenas tensões elétricas dos equipamentos produzem correntes que lesam regiões do corpo humano. Os órgãos ou regiões são mais lesados no ponto de saída ou entrada da corrente do elemento invasivo. Nestes pontos a densidade da corrente é alta, danificando os tecidos, com queimaduras ou alterando o funcionamento do órgão.

Uma pessoa numa grande cirurgia, ou monitorada por vários equipamentos, tem risco maior devido ao tráfego indevido de corrente entre aparelhos elétricos distintos. No trajeto, a corrente passa através do corpo do

paciente. Esse tipo de choque será analisado no decorrer deste capítulo.

## 6.3 Cateterismo

Cateterismo é um exame invasivo, onde um cateter é levado através da veia ou artéria até dentro do coração ou outro órgão. Ver figura 1.6.1. A finalidade deste procedimento é avaliar com mais propriedade e detalhe o coração, tendo-se, consequentemente, um diagnóstico mais preciso.

O cateterismo é empregado para analisar e verificar as condições internas do coração. É usado principalmente para:

- analisar a performance das válvulas Mitral, Tricúspide, Aórtica e Pulmonar;
- verificar o grau de entupimento das artérias coronárias que irrigam o coração;
- desentupir as artérias que irrigam o coração, através de: esmagamento das gorduras e placas através da insuflação de um pequeno balão (Angioplastia);
- colocação de uma espiral metálica (*Stent*) para manter a artéria aberta;
- um rotor possa esmerilar a gordura interna da artéria.
- ser usado como marca-passo para controlar o batimento cardíaco;
- obter um ECG interno do coração, principalmente do feixe de His;
- obter a pressão do sangue no interior das cavidades do coração;
- diagnóstico de cardiopatias congênitas.

O aparelho do cateterismo pode, devido à falha da isolação ou perda do aterramento, produzir um choque elétrico diretamente dentro do coração. Ver figura 6.3.1, mostra uma falha de perda do aterramento do equipamento.

Nesse caso, a fibrilação ventricular é praticamente inevitável. Se ocorrer a perda do aterramento, o aparelho produz risco. Isto porque as próprias cargas estáticas geradas na carcaça do equipamento, mais as fugas de corrente pelas capacitâncias parasitas, já são suficientes para produzir

danos no coração. A perda do aterramento pode-se se dar, por corte acidental do fio terra ou porque não houve o contato interno do pino do plugue ao pino terra da tomada.

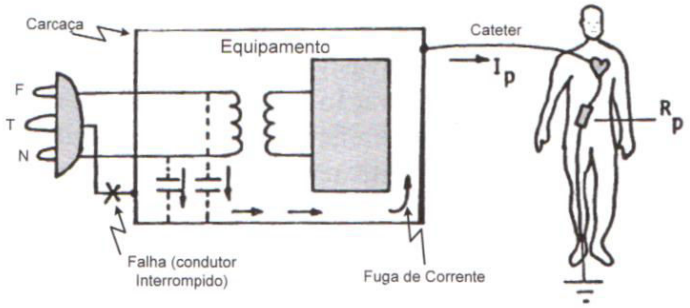



Figura 6.3.1 – Falha no aparelho de cateterismo

O médico deve sempre ter à sua disposição, pronto para ser usado, um desfibrilador elétrico.

A figura 6.3.2 mostra outra situação de risco que ocorre quando o paciente está na cama do hospital monitorado o coração via cateter e toca um aparelho elétrico (abajur) que está com falha.

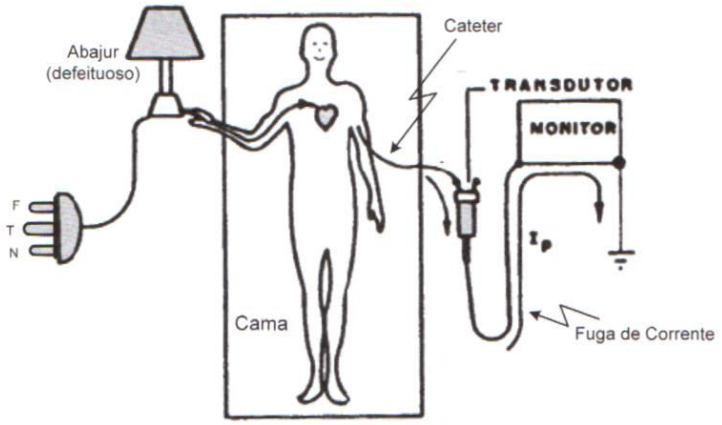



Figura 6.3.2 – Risco de choque elétrico

Se a pessoa monitorada por um aparelho via cateter invasivo tocar, neste caso, por exemplo, um abajur com defeito, a corrente de choque vem via abajur, passa pelo corpo (braço, tórax, coração), entra no cateter e vai a

terra.

Por segurança, as pessoas que estão hospitalizadas na situação da figura 6.3.2 não podem ter ao seu alcance nenhum dispositivo ou equipamento elétrico.

A própria introdução do cateter produz irritação mecânica nas paredes internas do coração que pode incitar arritmias, desmaios, fibrilação ventricular e até um processo inflamatório.

## 6.4 Marca-passo Artificial

Como apresentado no item 2.11, o ***Nódulo Sino Atrial*** (NSA) é o marca-passo natural do coração humano.

O NSA ou o percurso da condução elétrica pelo coração pode sofrer problemas e o sinal elétrico emitido pode ficar comprometido e prejudicar o batimento cardíaco, inclusive até a ter parada cardíaca.

O **NSA** está alojado na parede superior do Átrio direito, e pode ser afetado por:

- pericardites no Átrio direito;
- oclusão do tronco ou da pequena artéria que supre o **NSA**;
- isquemia devido ao infarto na região do **NSA**;
- dosagem (concentração) de potássio fora da normalidade.

As fibras musculares do ventrículo também são afetadas se houver problemas na condução do sinal elétrico emitido pelo **NSA**. Várias são as causas que podem afetar ou até bloquear totalmente a condução elétrica, tais como:

- ☹ congênito;
- ☹ doença degenerativa nos elementos que fazem parte da condução;
- ☹ isquemia e/ou infarto;
- ☹ diminuição do pH do sangue;
- ☹ altas doses de drogas, tais como digital e quinidina que provocam e diminuição da condução elétrica no feixe de **His**

- ☹ hipotiroidismo;
- ☹ processos inflamatórios;
- ☹ doenças infiltrativas;
- ☹ iatrogênico.

Se houver algum dano no **NSA** ou se o sinal proveniente do **NSA** não estiver chegando às fibras musculares do ventrículo, o batimento cardíaco ficará comprometido. Esse comprometimento pode causar danos em outros órgãos, principalmente, nas células cerebrais. Para tentar contornar essa situação, usa-se o marca-passo artificial.

O marca-passo artificial é um aparelho eletrônico que emite um pulso elétrico, forçando o batimento cardíaco. Ele produz um sinal que é uma réplica do sinal do **NSA**.

Se, por exemplo, numa emergência, o paciente estiver precisando de um marca-passo, no hospital, instala-se um marca-passo temporário externo ao corpo do paciente.

O marca-passo temporário é aplicado principalmente, nos casos de:

- taquiarritmias; como dispositivo anti-taquicardia;
- infarto agudo do miocárdio em que ocorram bloqueios de grau avançado;
- fibrilação atrial com frequência ventricular lenta;
- bloqueio bi ou trifascular;
- bloqueio Atrioventricular de 2º ou 3º Grau;
- bradicardia com sinais de isquemia cerebral de difícil controle;
- acelerar o coração para simular o **ECG** com esforço. Isto é feito, principalmente, em pessoas doentes ou paraplégicas.

Há, praticamente, dois tipos de marca-passos temporários:

1) marca-passo transtorácico, cuja instalação dos eletrodos é idêntico ao do desfibrilador elétrico;
2) marca-passo invasivo (figura 6.4.1), cuja instalação é feita pela veia do braço, da perna ou do pescoço. Geralmente a escolha recai sobre as veias do pescoço, por apresentarem caminhos menores e mais fáceis.

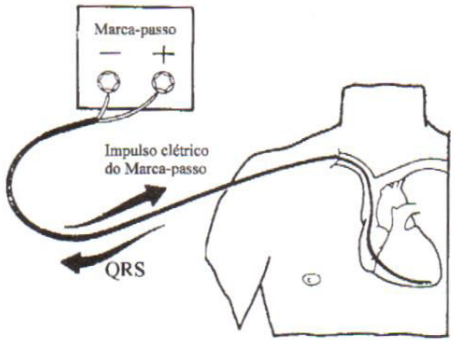



Figura 6.4.1 – Marca-passo temporário

O marca-passo externo transtorácico está praticamente em desuso, mas pode ser utilizado na emergência, num tempo não muito longo, isto por que:

- provoca queimaduras e úlcera na pele;
- suas contrações são dolorosas;
- provoca espasmos no diafragma.

Em relação à figura 6.4.1, o cateter com o eletrodo na ponta, é colocado através da veia do braço ou perna, passa pelo átrio direito e vai ao ventrículo direito. O eletrodo fica conectado à parede interna do ventrículo.

Com o tratamento, recuperando-se o batimento cardíaco normal, o marca-passo temporário será retirado, caso contrário, deve-se instalar um marca-passo definitivo.

Já o marca-passo artificial [30] definitivo é empregado principalmente nos seguintes casos:

- bloqueio Atrioventricular total de 2º Grau associado à sintomas decorrentes da bradicardia;
- bloqueios bifasciculares associados à infarto agudo do miocárdio;
- bloqueios bifasciculares associados à bradicardia sintomática;
- doença do Nó Sinusal com bradicardia sintomática;
- bradicardia sintomática;
- síncope por hipersensibilidade do seio carotídeo;
- arritmias como desfibrilador.

A bradicardia sintomática produz sintomas, tais como:

- diminui o débito cardíaco;
- síncope;
- convulsão;
- insuficiência cardíaca;
- choque;
- insuficiência coronariana, cerebral e renal.

O marca-passo artificial implantado no corpo é um dispositivo eletrônico de pequeno porte. Ver figura 6.4.2.

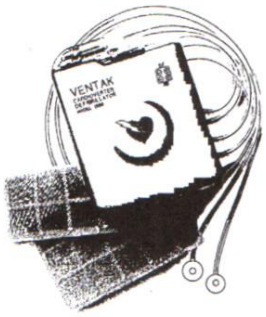



Figura 6.4.2 – Marca-passo artificial

Este marca-passo artificial é instalado sob a pele na região das mamas. O cabo (condutor) sobe até a região da clavícula, penetra na veia subclávia e vai através do átrio até o ventrículo direito do coração. Ver figura 6.4.3.

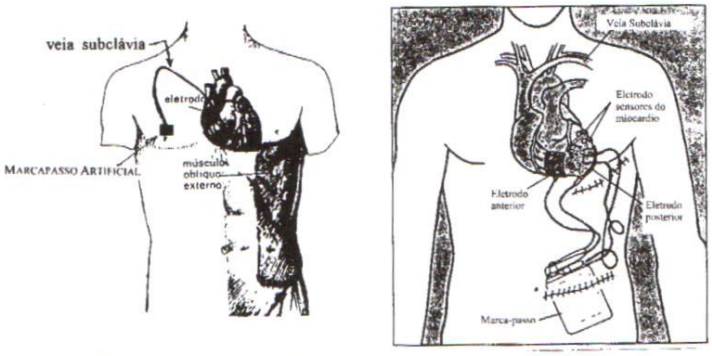



Figura 6.4.3 – Instalação do marca-passo artificial

A instalação do marca-passo apresentada a esquerda da figura 6.4.3 é mais simples e rápida, já a da direita e somente utilizada quando de uma cirurgia cardíaca.

Com o uso, a bateria se descarrega, e antigamente fazia-se uma pequena cirurgia para substituí-la. Atualmente, usa-se um processo em que a bateria do marca-passo é recarregada. Basta colocar uma bobina com um diodo entre os pólos da bateria. Um campo magnético externo variável induz uma tensão elétrica na bobina que carrega a bateria. Figura 6.4.4.

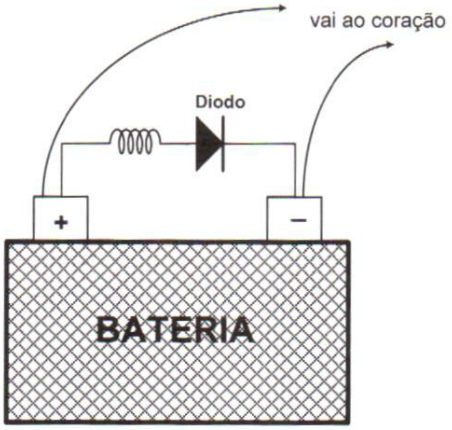



Figura 6.4.4 – Bateria recarregável

Assim, basta colocar sobre a pele, na posição da instalação do marca-passo, um aparelho elétrico que produza um campo magnético variável que pela bobina produz a recarga da bateria.

Muitas vezes, o marca-passo desregula. Neste caso, uma pequena operação deve ser feita para ajustar o circuito interno para que o mesmo possa emitir o sinal elétrico na frequência desejada. Atualmente, não há necessidade de uma operação, pode-se efetuar o ajuste do marca-passo por meio de controle remoto, similar ao do aparelho de televisão. A frequência dos pulsos elétricos emitidos pelo marca-passo artificial é normalmente ajustada no valor de 72 pulsos/minuto ou outro valor se for necessário.

A tecnologia do marca-passo ainda não está totalmente desenvolvida, mas a compactação dos circuitos microprocessados e a miniaturização dos componentes eletrônicos é uma realidade. No futuro, pode-se ter marca-passo do tamanho do botão de uma camisa. O mesmo

será introduzido pela veia e colocado na parede interna do ventrículo. O princípio de funcionamento, quanto ao ajuste da frequência da emissão do pulso elétrico, ainda sofrerá avanços.

Atualmente, os marca-passos existentes são:

**a) Marca-passo de demanda fixa**

É o marca-passo que emite uma freqüência fixa de pulsos elétricos e o batimento cardíaco é constante.

Geralmente, o ajuste da frequência é feito em 72 batimentos/minuto. Note-se que, neste caso, o coração da pessoa bate sempre no mesmo ritmo. Isto representa uma desvantagem porque o batimento não é mais influenciado pelos sensores naturais espalhados pelo corpo humano. Isto significa que o batimento cardíaco é constante mesmo nas situações em que a pessoa:

- está dormindo;
- leva um susto;
- realiza esforço muscular;
- etc...

O marca-passo de demanda fixa é constituído de um circuito eletrônico que, na área de controle, é denominado de malha aberta.

No marca-passo de demanda fixa os pulsos elétricos são emitidos independentes de atividade intrínseca do coração. Isto acarreta os seguintes problemas:

- 😐 palpitações frequentes;
- 😐 mal-estar;
- 😐 distúrbios inerentes ao conflito entre as excitações do **NSA** natural e o marca-passo artificial;
- 😐 caso de uma recuperação súbita e temporária da condução elétrica normal do coração, e se o marca-passo artificial produz um pulso elétrico mais intenso coincidente com o período vulnerável (onda **T**), pode ocorrer a fibrilação ventricular.

**b) Marca-passo de demanda variável**

Marca-passo de demanda variável ou simplesmente de demanda, é constituído por um circuito eletrônico cujo controle dos pulsos elétricos é feito em malha fechada. A escolha do elemento sensitivo que atua na malha fechada, isto é, no controle do ajuste da frequência da emissão de pulsos elétricos, é o que caracteriza o tipo de marca-passo de demanda. Isto é, o elemento sensitivo vai fundamentar o tipo de funcionamento do marca-passo de demanda. Com o avanço tecnológico, a tendência é aprimorar e miniaturar os marca-passos, dando melhor qualidade, confiabilidade e conforto ao ser humano.

Atualmente, os princípios que norteiam a variação da frequência dos pulsos elétricos, baseiam-se na:

- ✧ temperatura do corpo;
- ✧ produção de ácido láctico;
- ✧ contração muscular do aparelho respiratório;
- ✧ frequência do **Nódulo Sino Atrial** (NSA);
- ✧ dosagem de adrenalina nos nervos Simpáticos e Parassimpáticos (vago).

Com o esforço muscular, a temperatura do corpo sobe, aumenta a produção de ácido láctico e aumenta a respiração. Portanto, a característica desses marca-passos é fundamentada no esforço muscular. O marca-passo controlado por temperatura tem o agravante de ficar prejudicado em caso de febre.

O marca-passo ideal é o que capta exatamente a frequência dos pulsos do **Nódulo Sino Atrial**. Neste caso, de acordo com o item 2.19, o **NSA** se beneficia dos sensores naturais que são os responsáveis pela variação da frequência cardíaca.

As pessoas com marca-passo devem ter uma vida comedida, controlada e supervisionada pelo médico. Estas pessoas devem se cuidar para evitar:

- × choques elétricos, porque prejudicam ou descalibram o marca-passo;
- × passar perto de campos magnéticos variáveis e intensos,

principalmente os portais magnético dos aeroportos e dos bancos;

× choques mecânicos ou vibrações mecânicas intensas.

Atualmente, o marca-passo mede 5x1,5cm, utiliza bateria de Li/I, o eletrodo fixado no coração é de prata ou platina e o fio é revestido com poliuretano. As baterias de Li/I são de última geração. Elas têm as seguintes propriedades:

☼ longa vida útil;
☼ não liberam gases;
☼ hermeticamente seladas;
☼ impermeáveis;
☼ dimensões reduzidas.

Os problemas provenientes do marca-passo artificial implantado no corpo humano são decorrentes das:

- inflamações na região dos eletrodos;
- inflamações nas incisões;
- trombose venosa;
- deslocamento dos eletrodos com possibilidade de migrar para o Átrio direito ou até na artéria pulmonar;
- defeitos no aparelho;
- rompimento dos fios;
- fuga de corrente, precipitando arritmias graves;
- perfuração dos tecidos do ventrículo;
- reação a corpo estranho;
- falha ou exaustão da bateria.

Através da pesquisa, novos marca-passos têm sido idealizados na tentativa miniaturizá-los, de melhorar a qualidade e de evitar produzir incisões no corpo humano. As possibilidades são múltiplas, como por exemplo:

☺ somente com bobina e ponte retificada, implantados ou instaladas na parte interna do ventrículo. Neste caso, um campo magnético

variável gerado por um aparelho externo colado sobre a pele do corpo humano controlaria, por ação eletromagnética, o batimento do coração;

- ☺ cristais piezoelétricos alimentados por energia mecânica proveniente da:
  - ✷ pulsação da Aorta;
  - ✷ movimentação do diafragma;
  - ✷ contração dos músculos do próprio coração.

## 6.5 Eletrocardiograma

O equipamento eletrocardiógrafo que processa o eletrocardiograma foi apresentado no item 2.14. Este equipamento já produziu muito risco ao paciente, mas, atualmente, a parte elétrica ativa do contato no corpo humano com o circuito interno do equipamento é feita usando isolação dupla, isto é, classe II, adicionados com acoplamentos indiretos da eletricidade. Estes acoplamentos são feitos através de:

- × campos magnéticos, cujas variações se processam usando o mesmo princípio do transformador;
- × óptico, isto é, o sinal elétrico é convertido em sinais ópticos e vice-versa.

Esse acoplamento dá maior garantia do isolamento elétrico entre paciente e equipamento. Um eletrocardiógrafo com proteção através de acoplamento eletromagnético é mostrado na figura 6.5.1.

No entanto, com o decorrer do uso, após diversas manipulações, sempre poderá ocorrer falha, geralmente defeito na isolação do equipamento, advindo o risco de choque do próprio equipamento ou da associação com outros equipamentos.

A figura 6.5.2 mostra um caso sutil de risco de choque elétrico, produzindo a fibrilação ventricular no paciente.

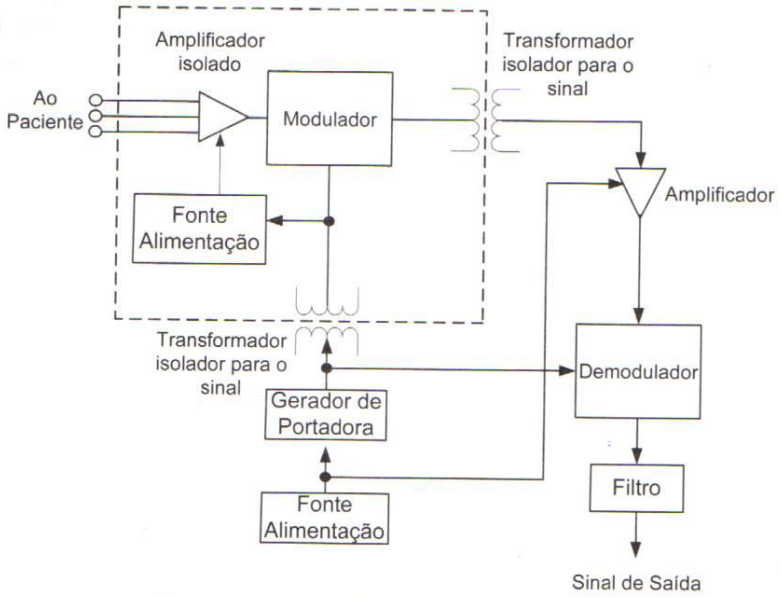



Figura 6.5.1 – Acoplamento eletromagnético

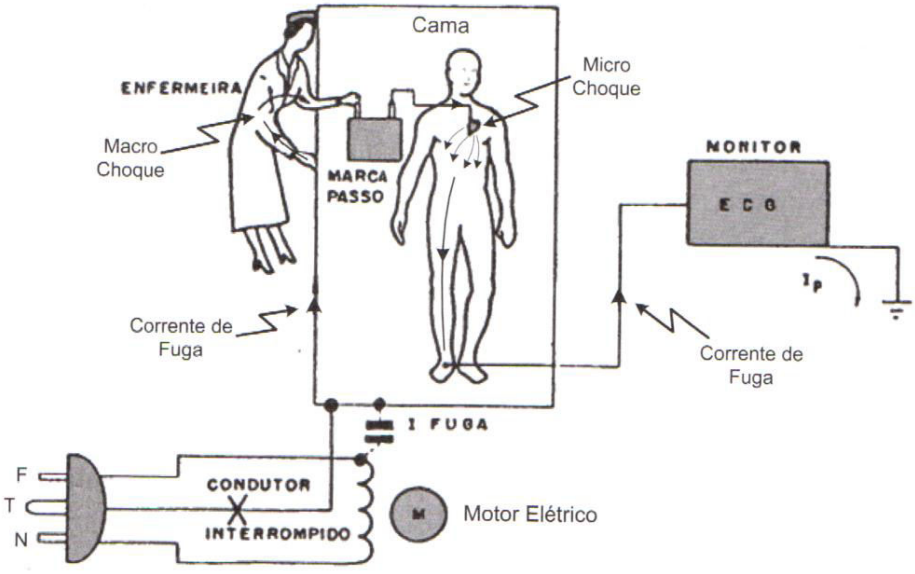



Figura 6.5.2 – Consorciamento de equipamentos

Para compreender como se deu a fibrilação ventricular no paciente, primeiramente deve-se considerar que choque de natureza invasiva, isto é, o micro choque, é perigosíssimo.

O ajuste de altura e inclinação do encosto da cama da figura 6.5.2 é motorizado. Com a perda do aterramento do circuito do motor elétrico, as correntes de fuga energizam levemente a estrutura metálica da cama. O paciente não recebe choque porque está encima do colchão e mesmo se receber será do tipo macro choque, sem grandes problemas.

Nas nesse caso no paciente, a fibrilação ventricular ocorreu, involuntariamente, quando a enfermeira toca com uma mão a estrutura metálica da cama e a outra mão toca o marca-passo temporário. Assim, uma pequena corrente, imperceptível pela enfermeira, mas já suficientemente perigosa ao paciente, causou a fibrilação ventricular. Note que a enfermeira foi o caminho condutor que possibilitou o acidente. No caso, o trajeto da corrente foi da estrutura da cama, pelo corpo da enfermeira, pelo marca-passo e corpo do paciente, pelo eletrocardiógrafo e fechou o circuito pela terra. Nesse tipo de acidente a enfermeira recebeu um macro choque e o paciente um micro choque.

A situação de risco da figura 6.5.2 mostra a sutileza do risco nos equipamentos médico-hospitalares. Muitos acidentes e mortes ocorrem no interior dos hospitais, sem o conhecimento da verdadeira causa.

Uma grande importância e preocupação devem-se ter com a qualidade, operação e manutenção dos equipamentos elétricos hospitalares.

## 6.6 Desfibrilador Elétrico

O desfibrilador elétrico, apresentado no item 3.6, em sua própria característica de operação causa, de acordo com o item 3.11, danos e sequelas ao paciente. O aparelho apresenta risco na sua operação e, também, devido à falhas internas.

Na operação, a existência de vômito, água, sangue e plasma sobre a pele da vítima podem desviar a corrente de descarga do desfibrilador. Este desvio produz os seguintes riscos:

- energiza outros equipamentos;

- choque elétrico no operador;
- queima da pele do paciente;
- perda da eficiência da descarga da cardioversão.

O tórax, mais propriamente a pele, deve estar bem limpa, isto é, isenta de qualquer tipo de líquido, tais como suor, vômito, água, sangue, plasma, soro, etc... Outro risco apresentado é quando o desfibrilador está com defeito na sua calibração, isto é, a carga de energia elétrica no capacitor indicada pelo desfibrilador não corresponde a real carga acumulada no capacitor. Assim o valor indicado no aparelho não corresponde ao valor desejado pelo médico, é as tentativas de cardioversão não tem sucesso.

Durante a descarga do desfibrilador, todos os médicos e enfermeiros devem ficar afastados do paciente.

A figura 6.6.1, mostra choque no operador no instante da descarga se a empunhadura do desfibrilador elétrico estiver com defeito.

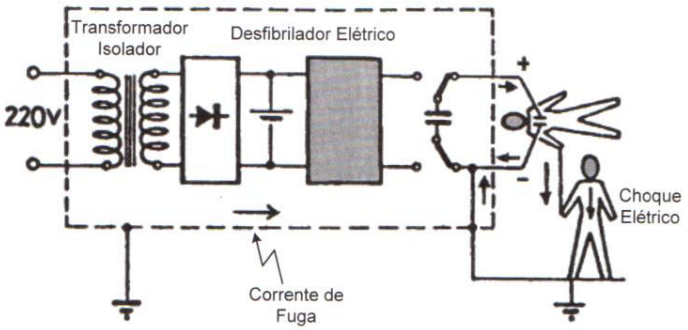



Figura 6.6.1 – Defeito na empunhadura do desfibrilador elétrico

Outro defeito é a perda de isolação interna no aparelho. Neste caso, todo o tipo de risco de choque pode ocorrer. A figura 6.6.2 apresenta este tipo de risco devido à falha na isolação interna, neste caso o fio fase da rede primária do transformador energiza diretamente o circuito de saída da empunhadura.

Nesse caso, o problema se agrava, quando o operador deixa a pá (eletrodo) encostada na vítima, e está começa a receber choque sem poder reclamar, porque está desmaiada em fibrilação ventricular. A equipe (médicos ou enfermeiras) só percebe que a vítima está recebendo choque quando tocam na mesma.

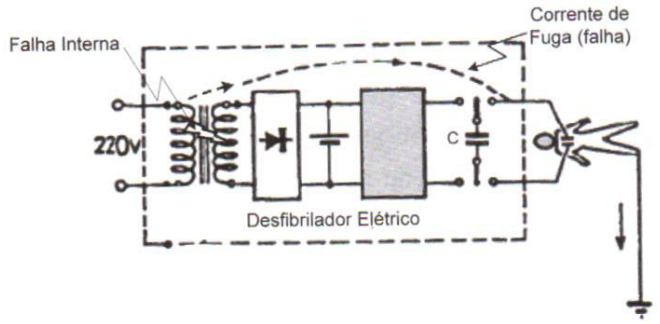



Figura 6.6.2 – Falha da isolação no desfibrilador elétrico

Cuidado em especial deve-se ter no uso da pasta eletrolítica (gel) nas pás do desfibrilador, por exemplo:

- ✷ quantidade insuficiente de pasta, pode produzir pouco contato entre a pá e a pele humana, tornando ineficiente a cardioversão e queimando a pele;
- ✷ excesso de pasta, pode fazer a pasta migrar para outros pontos, inclusive para a empunhadura provocando choque no operador.

Verificar sempre a integridade das pás, especialmente quanto a limpeza, conservação e pontos de oxidação.

Devido às altas tensões presentes no processo de desfibrilação, este procedimento é de alto risco, sendo perigoso e letal, devendo se tomar diversas precauções em relação aos operadores e pacientes:

- ✧ não entrar em contato direto com o paciente durante a descarga de desfibrilação, pois existe a possibilidade de desviar parte da energia;
- ✧ não tocar as partes metálicas dos eletrodos com o equipamento ligado, mesmo se não estiver carregado;
- ✧ não descarregar se os eletrodos estiverem em contato diretamente ou sobre superfície metálica;
- ✧ utilização adequada da quantidade de gel condutor, pois o excesso pode atingir os punhos dos eletrodos, produzindo um caminho até

o operador. A falta de limpeza das pás também pode causar este problema.

- ✧ evitar que a mesma pessoa opere o desfibrilador e realize os procedimentos de ressuscitação, pois o contato com o gel condutor pode acarretar no mesmo problema anterior;
- ✧ não realizar testes de operação sem equipamento adequado, como por exemplo, descarregar sobre superfícies como panos úmidos;
- ✧ esses tipos de equipamentos exigem treinamento e familiarização com os procedimentos necessários para tal.

## 6.7 Bisturi Elétrico

Atualmente, nas cirurgias são utilizados bisturis elétricos. Há dois tipos de bisturis elétricos, caracterizados pelo modo de atuação na cirurgia. São eles:

- bisturi elétrico de corte (incisão);
- bisturi elétrico de coagulação (cauterização).

O bisturi elétrico é o mesmo, mas, dependendo da regulação, a atuação será de corte ou de coagulação.

Quanto ao percurso da corrente elétrica gerada, o bisturi elétrico divide-se em duas categorias:

- bisturi elétrico monopolar;
- bisturi elétrico bipolar.

Nos itens seguintes serão apresentados os detalhes dos bisturis elétricos quanto às suas diferenças, princípio de funcionamento e riscos.

## 6.8 Bisturi Elétrico de Corte

O bisturi elétrico de corte se divide em duas categorias.

Primeiramente, apresenta-se o bisturi elétrico de corte do tipo monopolar. Esse aparelho, conectado na rede de energia elétrica, processa

um circuito interno que eleva a tensão entre 400 e 500 volts e opera com corrente elétrica em frequência elevada na faixa de 1 MHz a 2 MHz. Ver figura 6.8.1.

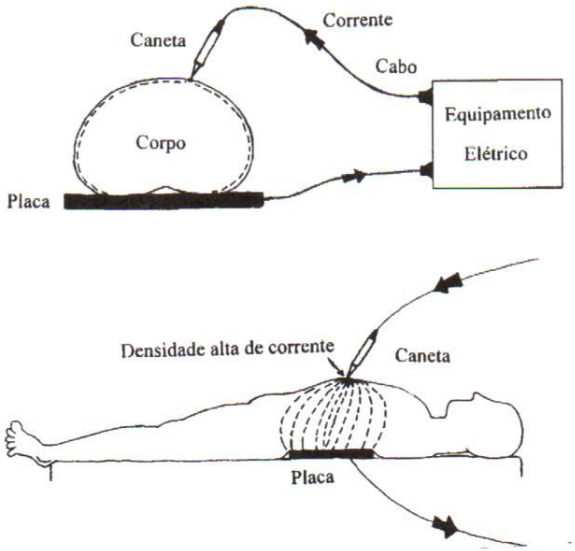



Figura 6.8.1 – Bisturi elétrico monopolar

O corte é feito pela ponta (pólo ativo) da caneta. A corrente elétrica em alta frequência, devido ao efeito ***Skin*** (item 4.14), entra pela ponta da caneta e espalha-se pela derme da pele do corpo humano. Esta corrente de alta frequência não penetra no corpo humano, não produzindo risco nos órgãos internos e, mais explicitamente, não provoca fibrilação ventricular.

A corrente que passa pelo corpo humano é coletada pela placa coletora de grande área colocada embaixo do corpo. Note que a corrente elétrica se espalha pela pele do corpo humano, diminuindo muito a sua densidade de corrente, distribuindo o calor gerado, sem provocar danos.

A corrente que sai do corpo e penetra na placa não produz danos devido à grande área de contato, isto é, tem baixa densidade de corrente na pele sob a placa. Na área de contato da placa com o corpo deve-se usar a pasta eletrolítica, com as mesmas características do item 3.10.

O corte efetuado pela ponta do bisturi se dá basicamente por dois princípios que são:

➦ calor gerado pela ponta do bisturi é intenso. Isto se dá porque é

pequena a área de contato da ponta com o paciente e a densidade de corrente é grande, produzindo um ponto com alta temperatura;

- a alta frequência (faixa de 1MHz a 2MHz) da corrente elétrica funciona identicamente ao forno de microondas, ou seja, a energia liberada pela ponta do bisturi produz um rápido aquecimento na água no interior das células, que entram em ebulição, provocando a explosão da célula, abrindo o corte nos tecidos. Ver figura 6.8.2.

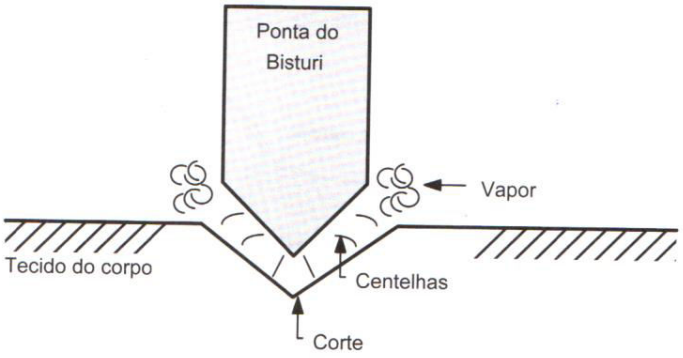



Figura 6.8.2 – Detalhe ampliado da ponta do bisturi elétrico de corte

Na cirurgia da figura 6.8.2, o corte está ocorrendo verticalmente à folha desta página.

Portanto, o calor gerado em alta freqüência provoca a explosão das células e o corte vai abrindo-se. Esse corte ocorre exatamente nas células sob a ponta do bisturi. As células na adjacência não sofrem danos, diminuindo bastante a área lesionada de corte.

A placa de aço inoxidável que forma o pólo neutro deve ter no mínimo $1cm^2$ para cada 1,5W gerado pelo bisturi. Os bisturis mais potentes têm 200W, portanto uma placa com $137cm^2$ seria suficiente, mas por segurança adota-se no mínimo uma placa com 200 $cm^2$. Nos equipamentos por segurança as placas têm áreas maiores, por exemplo, um valor muito utilizado é a placa com 20x30 cm.

Dependendo do tipo de necessidade da cirurgia, a caneta (eletrodo) pode ser:

- caneta padrão;

- tipo faca reta pequena;
- tipo bola (diâmetro de 2,1mm);
- tipo bola (diâmetro de 4,2mm);
- tipo alça pequena (diâmetro de 4,5mm);
- tipo agulha de 85mm
- tipo agulha de depilação de 66mm.

O bisturi elétrico bipolar, figura 6.8.3 tem numa ponta o pólo ativo e na outra o pólo neutro.

Nesse bisturi, a corrente elétrica passa diretamente da ponta ativa para a ponta neutra, portanto dispensa o uso da placa. A corrente passando pelas duas pontas produz o mesmo efeito do tipo do bisturi anterior, apenas com menor potência. Portanto, esse bisturi é usado em cirurgias mais delicadas, como as vasculares e neurocirurgias ou como complemento de uma cirurgia de maior porte.

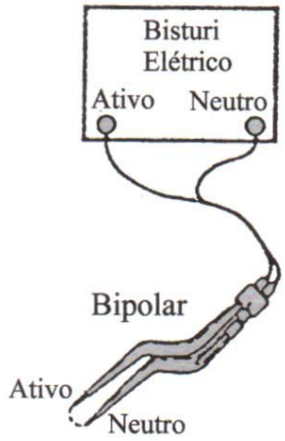



Figura 6.8.3 – Bisturi elétrico bipolar

## 6.9 Bisturi Elétrico de Coagulação

Na cirurgia, faz mister, estancar as hemorragias existentes na área do corte. O estancamento ou coagulação é feito utilizando-se o bisturi elétrico de coagulação. O modo de ação é idêntico ao bisturi elétrico de corte,

apenas a corrente que processa a coagulação trabalha numa frequência menor, na faixa de 600kHz a 700kHz.

A corrente elétrica que libera a energia na ponta do bisturi de coagulação é pulsativa como mostra a figura 6.9.1.

Figura 6.9.1 – Corrente elétrica pulsativa

Esse processo de liberação de energia em etapas, isto é, em blocos, associados com a frequência da corrente elétrica na faixa de 600kHz a 700kHz produz um aquecimento mais lento, não provoca a explosão, mas produz a desidratação e a coagulação das proteínas no interior das células. O detalhe da ação da ponta do bisturi elétrico de coagulação está mostrado na figura 6.9.2

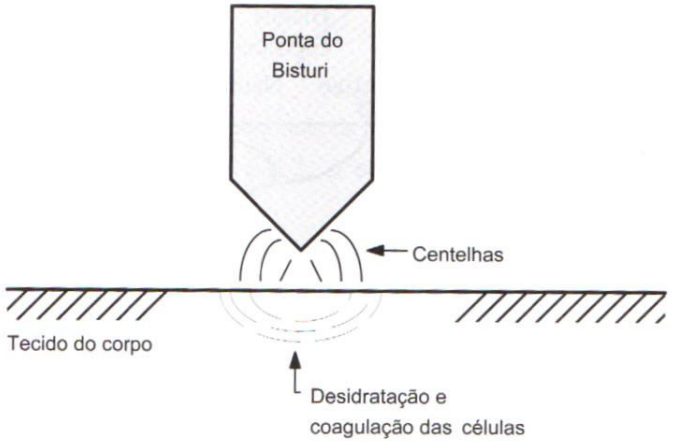



Figura 6.9.2 – Detalhe da ponta do bisturi elétrico de coagulação

## 6.10 Risco do Bisturi Elétrico

O risco do uso do bisturi elétrico deve-se à:

- ☹ negligência;
- ☹ mau contato com a placa;

- ☹ movimentação súbita do paciente anestesiado;
- ☹ defeitos internos no equipamento;
- ☹ proximidade de outros equipamentos ou metais.

O risco ocorre principalmente quando, por algum motivo a corrente elétrica muda o seu percurso.

O risco devido à negligência ocorre quando líquidos derivados do vômito, do sangue, do plasma ou soro, ficam inadvertidamente espalhados sobre a pele do paciente. Se o líquido produzir contato entre o corte e a placa, a corrente elétrica do bisturi elétrico desviará do seu percurso, queimando a pele do paciente nesta região.

Deve-se colocar a placa untada com pasta gelatinosa (eletrolítica) no paciente e prendê-la com fita adesiva, para produzir um bom contato. Isto porque se a placa estiver com mau contato, à densidade elétrica aumentará nas pequenas áreas com contato, queimando a pele. Prender firmemente a placa com fita adesiva evita o mau contato da placa. Note que a placa pode se desprender devido a movimentação brusca do paciente, principalmente em estado agonizante ou se o mesmo involuntariamente receber um choque elétrico.

Quando o paciente é controlado, monitorado por outro equipamento elétrico, durante a cirurgia, o risco de queimadura profunda e interna ocorre devido ao momentâneo mau contato da placa. A figura 6.10.1 mostra este risco típico de mau contato da placa ou da ruptura do cabo de retorno.

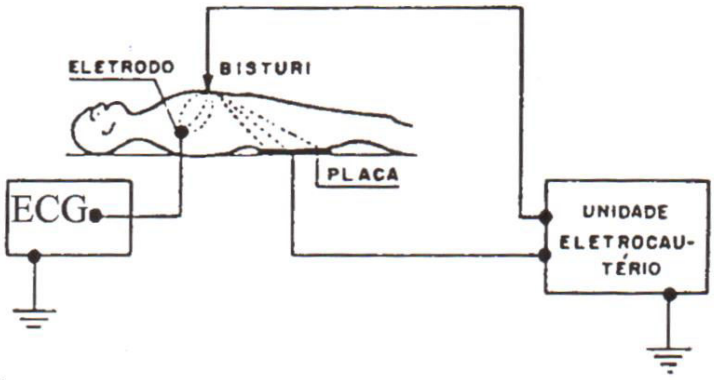



Figura 6.10.1 – Risco do bisturi elétrico

No instante do mau contato com a placa, a corrente elétrica do bisturi desvia e entra no pequeno eletrodo do Eletrocardiógrafo. Neste eletrodo de pequena área, a densidade de corrente elétrica é alta, produzindo queimaduras internas e profundas, lesando a pele e outros órgãos.

Sempre que há mau contato com a placa, a corrente elétrica procura outros caminhos, produzindo queimadura nesses percursos. As lesões provocadas por queimaduras profundas são de difícil cicatrização. Quando o sangue da cirurgia escorre pela pele do paciente e toca qualquer metal aterrado, a corrente elétrica do bisturi desvia do seu percurso, queimando o paciente. Outra precaução recomendada é evitar aproximar qualquer metal do bisturi elétrico. A corrente alternada de altíssima frequência do bisturi induz correntes nas estruturas metálicas de outros equipamentos, gerando nesses pontos temperaturas elevadas. Esta é a grande causa de queimaduras nos pacientes que são submetidos a cirurgias. Portanto, as fiações do bisturi elétrico e do retorno da placa devem transpassar outras fiações sempre a $90^{o}$, ou estar distanciadas.

Em pacientes que usam marca-passo, a precaução acima é também recomendada, porque durante a cirurgia, as interferências eletromagnéticas podem afetar o mecanismo interno do marca-passo. Os principais cuidados com pacientes com marca-passo durante a cirurgia são:

- a ponta do bisturi deve operar a uma distância mínima de 15cm do marca-passo e seus cabos;
- utilizar menores potências no bisturi;
- colocar a placa no corpo de modo que o percurso da corrente elétrica do bisturi pela pele não passe na região do marca-passo;
- se possível usar o bisturi bipolar;
- monitoração constante do coração;
- após a utilização do bisturi, o marca-passo deve ser testado.

Nos modernos bisturis elétricos, que utilizam tecnologias digitais, várias precauções automatizadas para a segurança do paciente são implementadas. Por exemplo, quando durante a cirurgia, a placa perde contato ou fica com pouco contato com a pele do paciente, o dispositivo interno de segurança desliga automaticamente o bisturi, evitando se as queimaduras na pele.

## 6.11 Considerações Finais

Não se pretendeu examinar todos os equipamentos hospitalares, mas apenas alguns com o intuito de verificar a enorme responsabilidade na sua qualidade, manuseio e manutenção.

A tendência é, com o avanço tecnológico, a proliferação cada vez mais acentuada dos equipamentos elétricos na área médica.

Para contornar o problema, as normas relativas à construção de hospitais, fabricação de equipamentos médicos, instalações, manuseio e manutenção devem ser extremamente rigorosas.

# Bibliografia

[1] G. Kindermann. PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM ESTRUTURAS EDIFICADAS. Edição do Autor - Florianópolis – SC, 4ª edição, 2009.

[2] **IEC 513** - "*Basic Aspects of the Safety Philosophy of Electrical Equipament used in Medical Practice*". *Publication* 513, IEC, Genève-Suisse, 1976.

[3] P. M. GEWEHR. Riscos de Choques Elétricos Presentes no Ambiente Médico-Hospitalar: Avaliação e Prevenção. Dissertação de Mestrado, UNICAMP-SP, fev. 1983.

[4] C. F. DALZIEL. *Effects of Electric Shock on Man*. Electrical Engineering, vol. 60, nº 2, pp. 63-66, feb. 1971.

[5] **NBR-9153** - Conceituação e Diretrizes de Segurança de Equipamento Elétrico utilizado na Prática Médica - Aspectos Básicos, ABNT, nov. 1985.

[6] **NFPA 76B** - "*Safe use of Electricity in Pacient Care Areas of Hospitals*" - National Fire Protection Association, Boston - USA, 1980.

[7] **NBR-6533** - Estabelecimento de Segurança aos Efeitos da Corrente Elétrica Percorrendo o Corpo Humano. ABNT, mar./1981.

[8] G. Biegelmeier; W. R. Lee. *New Considerations on the Threshold of Ventricular Fibrillation for A.C. Schocks at 50-60Hz*. IEE Proc., nº 127, pp.103-110, march 1980.

[9] A. A. Monte; E. F. Farina - Segurança em Instalações e Equipamentos Elétricos Hospitalares - Monografia apresentada no IV Seminário de Engenharia de Segurança do Trabalho, UFSC - 1993 (209 páginas), Orientador: Geraldo Kindermann.

[10] G. Kindermann; J. M. Campagnolo. ATERRAMENTO ELÉTRICO. Edição do Autor - Florianópolis – SC, 6ª edição, 2011.

[11] E. Knobel. Condutas no Paciente Grave. Livraria Atheneu Editora, 1994.

[12] **ABNT-COBEI.** Coletânea de Símbolos Gráficos para Equipamentos Eletromédicos - Ante-projeto de Norma 03:062.01-017, out.1991.

[13] **UL 544**. *Standard for Safety-Medical and Dental Equipament. Underwriters Laboratories*, Northbrook, 1980.

[14] **IEC 601.1** - "*Safety of Medical Electrical Equipaments*". *Part 1: General Requirements* - Publication 601.1 - 1977.

[15] **NBR-5410**. Instalações Elétricas de Baixa Tensão – ABNT /2004.

[16] G. Kindermann. Fibrilação Ventricular do Coração pelo Choque Elétrico. Publicação interna - 92 páginas - EEL/UFSC - 1992.

[17] **IEEE-80**. *Guide for Safety in Substation Grounding*, 1976.

[18] B. S. Lapolli; A. G. Vieira. Segurança do Trabalho em Sala de Bateria Chumbo-Ácido. Monografia apresentada no II Seminário de Engenharia de Segurança do Trabalho, UFSC/1991, 53 páginas. Orientador: Geraldo Kindermann.

[19] **ABNT**. Eletrocradiógrafos Monocanais e Multicanais - Prescrições de Segurança. Ante-Projeto de Norma 03:062.04-002, maio/1990.

[20] **IEC-479**. *Effects of Current Passing Through the Human* Body - Publication 479-1. International Electrotechnical Comission, Genève, Suisse, 1984.

[21] **ABNT**. Equipamentos para Monitoração de ECG - Prescrições Particulares de Segurança. Ante-Projeto de Norma 03:062.04-011, dez./1991.

[22] H. E. Thomas. *Handbook of Biomedical Instrumentation and Measurement*. Prentice-Hall, 1974.

[23] G. Kindermann. Choque Elétrico. Publicação interna - 120 páginas - EEL/UFSC - 1989.

[24] **IEC 62A55** - "*Third Draft - Requirements for Electrical Installations in Medical Establishments*" - Secretariat - 1981.

[25] Indicações para implante de marca-passo cardíaco permanente. DECA/DAEC/1990. Rev. Bras. Marca-passo e Arritmia 3:75, 1990.

[26] G. Kindermann. CURTO-CIRCUITO. Edição do Autor - Florianópolis – SC, 5ª edição, 2010.

[27] **ABNT**. Segurança do Equipamento Eletro-médico. Ante-Projeto de Norma 03:062.1, 1981.

[28] L. S. Dreifus; R. Haiat; Y. Watanabe. *Ventricular Fibrillation: a possible mechanism of sudden death in patients with Walff-Parkinson-White Syndrome*. Circulation 43:520, 1971.

[29] **MS** - Normas e Padrões de Construções e Instalações de Serviços de Saúde - DNOSS/SNABS/Ministério da Saúde - Brasília-DF.

[30] W. Deccache. A Clínica e o Tratamento das Arritmias Cardíacas. Rio de Janeiro: Livraria Atheneu, 1979.

[31] J. Feher; A. Timerman. Fundamentos da Ressuscitação Cardio-pulmonar. Arq. Bras. Cardiol. 33:141, 1979.

[32] G. E. Adriano; L. Fedrigo. Risco na Eletrificação Rural. Monografia apresentada no III Seminário de Engenharia de Segurança do Trabalho, UFSC, 1993. (56 páginas). Orientador: Geraldo Kindermann.

[33] G. Kindermann. Distribuição de Energia Elétrica. Publicação interna - 103 páginas - EEL/UFSC - 1990.

[34] V. B. Mountcastle. Fisiologia Médica. Editora Guanabara Koogan, vol. 1 e 2, 1978.

[35] E. F. Carneiro. O Eletrocardiograma. Livraria Editora Enéas Carneiro Ltda, 3ª reimpressão, 1992.

[36] A. M. Gomes. Enfermagem na Unidade de Terapia Intensiva. Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1988.

[37] **GRIDIS**. Estatística de Acidentes do Trabalho. ELETROBRÁS, 1986.

[38] K. D. Donovan. *Cardiac pacing in intensive care*. Anesth. Intensive Care 13:41, 1985.

[39] J. R. A. Souza. Os Componentes da Instalação e a Proteção Contra Choques. Revista Eletricidade Moderna, Nº 181, abril/1989.

[40] R. G. Hanser; R. M. Vicari. *Temporary pacing. Indications, modes and techniques*. Med. Clin. North Am. 70:813, 1986.

[41] G. Biegelmeier. *The Electric Impedance of the Human Body*, RGE vol.11, pp.817-832, nov./1985.

[42] H. Antoni. *Auslösung und Beseitigung von Herzkammerflimmern durch den Elektrischen Strom*. Funkt Biol. Med.; 1, 1982, 39.

[43] G. Kindermann. Sobretensão na Distribuição. Publicação interna - 120 páginas - EEL/UFSC - 1991.

[44] C. F. Dalziel; W. R. Lee. *Reevaluation of Lethal Electric Currents*. IEEE Trans. IGA-4, nº 5, september/october/1968.

[45] B. J. Parks; R. L. Horner. *Electric burns of the hand*. J. Occup. Med., 15, pp. 967-970, december 1973.

[46] C. R. Hellmeister; B. J. Ferreira; M. A. F. Rodrigues; C. Fernandes; A. M. França; A. A. Dâmaso. Influência do Trabalho em Alta Tensão na Saúde do Homem (Comportamento da Pressão Arterial e Pulso). IX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Belo Horizonte - MG, 1987.

[47] H. Barbosa. Controle Clínico do Paciente Cirúrgico. Livraria Atheneu Editora, 6ª ed., 1992.

[48] **GRIDIS nº 10**. Guia - Sistematização do Controle de Risco-Função 611 - Turmas de Redes Aéreas de Distribuição Desenergizadas - CCON-CODI-ELETROBRÁS, 1987.

[49] L. P. Ferris; R. G. King; P.W. Spence; H. B. Williams. *Effects of Electric Schock on the Heart*. Elect. Eng., nº 55, pp. 498-503, 936.

[50] K. Fitzgerald. *Technology in Medicine: too much too soan?* - IEEE - SPECTRUM, pp. 24-29, december/1989.

[51] J. Cabanes. *Electrical Burns*. RGE - 11/1985. pp. 844-853, novembre/1985.

[52] C. F. Dalziel; J. B. Lagen; J.L. *Thurston. Electric Shock*. AIEE Transactions, vol. 60, 1941.

[53] G. Kindermann. PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA. Edição do Autor - Florianópolis – SC, Volume 1, 3ª edição, 2012.

[54] W. B. Kouwenhoven, et al. *AC Schocks of varyng Parameters Affecting the Heart*. AIEE Transactions, vol. 78, part 1, 1959.

[55] W. Pickert. Interruptor de Corrente de Fuga. Revista Mundo Elétrico, Out./1974.

[56] A. N. S. John. *Grounds for Signal Referencing*. IEEE SPECTRUM, pp.42-45, june/1992.

[57] **GRIDIS nº 20**. Encontro Nacional Sobre Detector de Tensão e Aterramento Temporário em Redes de Distribuição, ELETROBRÁS, 1991.

[58] J. Weirich; K. Haverkampf; H. Antoni. *Ventricular Fibrillation of the Heart Induced by Electric Current*. Revue Générale de l'Électricité (RGE), vol.11, pp. 833-842, nov./1985.

[59] G. Kindermann. Luminotécnica. Publicação interna - 123 páginas - EEL/UFSC - 1988.

[60] T. Sugimoto; S. F. Shaal; A. G. Wallace. Factors *Determining vulnerability to Ventricular Fibrillation Induced by 60cps alternating Current*. Circ. Res.; 21, 1967, 601.

[61] B. Korlof et autres. *Skull Injuries Caused by High Voltage Electricity*. Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. 11, 1, pp. 75-77, 1977.

[62] S. J. Reiser; M. A. *The Machine at the Bedside: Strategies for using technology in patient care*. Cambridge University Press, Cambridge, Mass., 1984.

[63] H. Freiberger. Der Elektrische Widerstand des menschlichen korpers gegen Techinischen Gleiich-und Wechelstrom. Berlin: Verlag Julius Springer, 1934.

[64] M. E. Valentinuzzi et. al. *Fibrilacion - Defibrilacion Cardiaca*. 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 1983.

[65] U. Sam. *Neue Ergebnisse Uber die Elektrische Gefahrdung des Menschen bei Teildurchstromungen des Korpers*. VDRI Jahrbuch, Hannover, 1968.

[66] E. Ch. Wagner. *Uber die Diagnostik von Stromeintrittstellen auf der menschlichen Haut*. Dissertation Universität Erlangen, 1961.

[67] G. Kindermann. PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA. Edição do Autor - Florianópolis – SC, Volume 2, 2ª edição, 2013.

[68] Medicina e Saúde. Enciclopédia Ilustrada. Editora Abril, 1967.

[69] **NF C 15-100**. *Installations Électriques à basse Tension*. Règles. Editée par l'Union Technique de l'Electricité, 1982.

[70] D. Furbetta; A. Bufalari; F. Santucci; P. Solinas. *Abnormality of the U wave and the P-U segment of the electrocardiogram. The syndrome of the papillary muscles*. Circulation 14: 1129-1956.

[71] D. C. Gadsby; P. F. Cranefield. *Direct Measurement of Changes in Sodium Pump Current in Canine Cardiac Purkinje Fibers*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 76: A83-1179.

[72] T. N. James. *Anatomy of the Human Sinus Node*. Anat. Rec. 141:109, 1961.

[73] T. N. James; L. Sherf; G. Fine, A. R. Morales. *Comparative Ultrastructure of the Sinus Node in Man and Dog. Circulation* 34:139-1966.

[74] F. J. Weibell. *Electrical Safety in the Hospital. Annals of Biomedical Engineering*, 2, 126-148, New York: Academic Press, 1974.

[75] O. Z. Roy; J. R. Scott; G. C. Park. *Ventricular Fibrillation and Pump Failure Thresholds Versus Electrode Area*. IEEE Transactions in Biomedical Engineering, 23, 45-48, 1976.

[76] M. R. Neuman. *Medical Instrumentation*. John G. Webster (editor), Boston, 1978.

[77] L. E. Meltzer; R. Pinneo; J. R. Kitchell. Enfermagem na unidade Coronariana. Livraria Atheneu, 1987.

[78] **ABNT** - Projeto 03:062.04-011. Equipamento para monitoração de ECG: prescrições particulares de Segurança. Dezembro/1991.

[79] **ABNT** - Projeto 03:062.01-017. Coletânea de símbolos gráficos para equipamento eletro-médico de formação de imagem por ressonância magnética e por ultrasom e para marca-passo cardíaco e monitoração - simbologia. Outubro/1991.

[80] M. Torres; R. S. Mathias. Complicações com o uso da monitorização - Segurança no uso do Equipamento Eletro-médico. Revista Brasileira de Anestesiologia, vol. 42: nº1, jan/fev/1992.

[81] S. W. Wald; V. D. B. Mazzia; E. C. Spencer. *Accidental Burns Associated with Electrocautery*. JAMA, 217: 916-921, 1971.

[82] B. F. Hoffman; P. F. *Cranefield. Electrophysiology of the Heart*. McGraw-Hill, New York, USA, 1960.

[83] C. F. Babbs; W. Tacker; A. V. M. Van Vleet; J. D. Bourland; L. A. Geddes. *Therapeutic indices for transchest defibrillation shocks; effective, damaging and lethal electrical doses*. Am. H. Journal, 99(6):734-738/1980.

[84] **Norma AAMI DC-D**. *Cardiac Defibrillation Devices. Association for the Advancement of Medical Instrumentation*. Arlington, VA-USA, 1978.

[85] J. Destri; R.T. Bergamo. Proteção Contra Descargas Atmosféricas. Monografia apresentada no IV Seminário. O Ensino da Engenharia de Segurança do Trabalho. UFSC, 1993. Orientador: Geraldo Kindermann.

[86] Vários autores. Cardiologia: Atualização e Reciclagem - SOCESP - Livraria Atheneu Editora - 1994.

[87] A. C. Guyton. Tratado de Fisiologia Médica. Editora Guanabara Koogan S.A. - 8ª edição - 1991.

[88] NBR 14039 – Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. ABNT-dezembro/2003.

[89] NBR 5419 – Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas – Procedimento. ABNT/1992.

[90] NBR 13534 – Instalações Elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde – Requisitos para Segurança. ABNT/nov. 1995.

[91] J. R. A. de Souza; H. Moreno - Guia EM da NBR 5410 – Instalações Elétricas de baixa Tensão, Aranda Editora, dez/2001.

[92] NRs – Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego.

[93] L. F. M. Brito; T. R. M. Brito; C. Buganza. Segurança Aplicada às Instalações Hospitalares. Editora SENAC – 2ª edição, 1998.

[94] W. Holfgang. *Protective Measures with Insulation Monitoring*. VDE VERLAG, Berlin und Offenbach – 2nd edition, 2000.

[95] NBR 14136 – Plugues e Tomadas para uso Doméstico e Análogo até 20 A, 250 VCA - Padronização, julho/2001.

[96] G. Kindermann. PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA. Edição do Autor - Florianópolis – SC, Volume 3, 1ª edição, 2008.

[97] IEC 60601-2-4: "*Medical electrical equipment, particular requirements for the safety of cardiac desfibrilators and cardiac defibrilator-monitors*", 1983.

# LIVROS

**Edições em Espanhol:**

- Aterramiento Eléctrico
- Cortocircuito

**Edições em Português:**

- Choque Elétrico
- Aterramento Elétrico
- Curto-Circuito
- Proteção Contra Descargas Atmosféricas em Estruturas Edificadas
- Proteção de Sistemas Elétricos de Potência - Volume 1
- Proteção de Sistemas Elétricos de Potência - Volume 2
- Proteção de Sistemas Elétricos de Potência - Volume 3

# EDIÇÃO DO AUTOR

Você pode adquirir os livros de sua preferência. Solicite-os pelos endereços:


E-mail:
geraldokindermann@gmail.com

Fone:
(48) 3721 - 9731

Fax:
(48) 3721 - 7538


UFSC LabPlan EEL

# CONTEÚDO


Choque Elétrico

Coração Humano

Fibrilação Ventricular do Coração Devido ao Choque Elétrico

Efeitos do Choque Elétrico no Corpo Humano

Riscos do Choque Elétrico

Riscos com Equipamentos Hospitalares



Geraldo Kindermann



ISBN 978-85-910875-4-9

9 788591 087549